
SILLANKORJAUksen REUNAPALKIN BETONOINTITÖIDEN KEHITTÄMINEN



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Visamäki, kevät 2013

Lasse Dahl



Visamäki
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Infrarakentaminen

Tekijä	Lasse Dahl	Vuosi 2013
Työn nimi	Sillankorjauksen reunapalkin betonointitöiden kehittäminen	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä on dokumentoitu kokeiluhanke, jossa sillankorjauksurakan reunapalkin betonointitöitä pyrittiin kehittämään Liikenneviraston ja InfraRYLin ohjeiden puitteissa. Työn tilaajana on PEAB Infra Oy, joka toimii pääurakoitsijana sillankorjaushankkeissa.

Sillankorjausta ohjaava Liikenneviraston ohjeisto ja Infra RYL ovat hyvin yksityiskohtaisia, mutta toisaalta hankkeen toteutustapoja sitovia. Muussa rakentamisessa betonointi- ja muottiteknikat ovat kehittyneet ja näitä kehittyneitä työtapoja ja materiaaleja olisi syytä käyttää myös sillankorjausrakentamisessa.

Kehitystyön käynnistämiseksi on syytä kokeilla erilaisia muottimateriaaleja. Työtapojen ja – prosessien kehittäminen on välttämätöntä toiminnan kehittämiseksi yleensä. Yksittäisten ideoiden on sovittava kokonaisuuteen ja liittyviin työvaiheisiin. Siksi on mielekkäämpää tarkastella kokonaisen rakennusosan tuotantoprosessia. Kokeiluhankkeen toteutusympäristönä oli työmaaolosuhteet. Tämän vuoksi painotus on ollut työmaatasolla tehtävissä muutoksissa ja erilaisten materiaaliominaisuuksien hyödyntämisessä. Tavoitteena oli hyödyntää itsetiivistyvän betonin ja erilaisten muottimateriaalien ominaisuuksia reunapalkin betonoinnin tyypillisten laatuongelmien ratkaisuun, kehittää vaihtoehtoinen työjärjestys sillankaiteen pystytykselle ja toteuttaa sillankaide ilman juurivalujen tekoa. Samalla haluttiin luoda kokeiluperusta jatkokehitystyölle muottijärjestelmien kehittämiseen.

Kokeilussa haluttiin yhdistää ja dokumentoida kokemuseräistä tietotaitoa siltabetoneista olemassa olevaan kattavaan teoretiseen tietoon. Sillankorjauksen yleiset laatuvaatimukset hieman sovellettuna toimivat hyvin kehyksenä tulosten tarkasteluun.

Kokeilu onnistui pääsääntöisesti tavoitteissaan. Laaturiskiä saatiin pienennettyä samoilla resursseilla kustannustasoa nostamatta. Lisäksi onnistuttiin kehittämään toimiva vaihtoehtoinen työjärjestys reunapalkin tuottamiseen ja sillankaiteen toteutukseen.

Avainsanat sillankorjaus, itsetiivistyvä betoni, reunapalkki, sillankaide, työjärjestys

Sivut 59 s. + liitteet 15 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Construction Management

Civil Engineering

Author

Lasse Dahl

Year 2013**Subject of Bachelor's thesis**

Development of concretework of spandrel beams in bridge renovation

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to document a pilot project where the concretework of spandrel beams in a bridge renovation process was developed according to the instructions and regulations set by traffic authorities. The developing project was commissioned by PEAB Infra Oy that operates as a prime contractor in bridge renovation projects.

The regulations concerning bridge renovation work set by Finnish Transport Agency ELY-keskus and InfraRYL are very specific but on the other hand restricting. Formwork materials, casting techniques and controlling of concrete properties have developed in other branches of construction. This development should also be utilized in bridge renovation contracting.

To start development experimenting new formwork materials is essential. Developing working procedures and methods is important in general. Single ideas should be fitted to the whole process and its various stages. Therefore, it's more effective to study the production process of a whole building component than single ideas. The project took place in a genuine building site environment. In this project the focus was on on site solutions and benefiting from properties of materials. The goal was to solve typical quality problems in concrete surfaces of spandrel beams by the use of self-compacting concrete and new formwork materials. Another goal was to develop a new process to set a bridge parapet without a footcasting.

The project was to combine experiential knowhow with the theory of concrete technology in bridge construction. The general quality requirements of bridge renovating process were a good basis for analyzing results.

The project succeeded in reaching most of its goals. Quality risks diminished with equal resources without raising costs. Also, a new kind of work procedure for renovating of the bridge spandrel beam and setting a parapet was developed. The basis for future development projects was achieved.

Keywords bridge renovation, spandrel beam, parapet, self-compacting concrete**Pages** 59 p. + appendices 15 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Sillankorjaus toimialana.....	1
1.1.1	Sillankorjauksen historiaa	1
1.2	Sillankorjaushanke	1
1.2.1	Sillantarkastus.....	1
1.2.2	Sillankorjauksen suunnittelu	2
1.2.3	Sillankorjauksen urakointi.....	2
2	KEHITYSHANKKEEN TAUSTAA	2
2.1	Sillankorjauksen kehittäminen	3
2.1.1	Kehitysidean toteuttamisen haasteet.....	3
2.2	Reunapalkin uusiminen sillankorjauksen osana.....	3
2.2.1	Reunapalkin uusimisen tavanomainen työjärjestys.....	3
2.2.2	Reunapalkin mitat.....	4
2.2.3	Reunapalkin tehtävä	5
2.2.4	Reunapalkkiin kohdistuva kloridirasitus	5
2.2.5	Reunapalkin betonoinnin laatuvaatimukset.....	5
2.3	Perinteisen puumuotin ja telineen aiheuttamat haasteet.....	6
2.4	Työturvallisuuden kehittäminen sillankorjauksen kannella tehtävissä töissä.....	7
2.4.1	Reunapalkin tuottamisen erityiset työturvallisuusriskit	7
2.5	Muottijärjestelmien kehitystilanne kansainvälisesti ja Suomessa.....	7
2.5.1	Olemassa olevien järjestelmien soveltuvuus suomalaiseen sillankorjaukseen	8
2.6	Betonipintojen huokosongelma ja betonointityö.....	8
2.7	Pääurakoitsijan rooli ja laatuvastuu Liikenneviraston tilaamissa hankkeissa.....	9
2.7.1	Uusien betonilaatujen tuomat mahdollisuudet	9
3	KEHITYSHANKKEEN SISÄLLÖN MUOTOUTUMINEN.....	10
3.1	Kehityshankkeen aiheen valinta.....	10
3.1.1	Toteutusympäristön aiheuttamat rajaukset kehityshankkeelle	10
3.1.2	Tyypillisiä betonoinnin laatuongelmia reunapalkin betonoinnissa.....	10
3.1.3	Laatuongelmien aiheuttamat ongelmat pääurakoitsijaorganisaatiolle...	11
3.1.4	Työtapojen kehitystarve	11
3.1.5	Kaidepylvään juurivalun aiheuttamat laaturiskit ja aikataulusite.....	11
3.1.6	Muottijärjestelmien kehitystarve	12
3.1.7	Työjärjestysten kehitystarve	12
4	KEHITYSHANKKEEN SISÄLTÖ JA RAJAUS.....	13
4.1	Tilaavan yhtiön reunaehdot kehityshankkeen aiheen valinnalle.....	13
4.2	Kehityshankkeen sisältö.....	13
4.3	Kehityshankkeen dokumentointi.....	14
4.4	Kehityshankkeen tavoite	14
4.5	Kehityshankkeen raportoinnin rajaus.....	14
5	KEHITYSHANKKEEN OSITUS	15
5.1	Sillankaiteen poikkeava työjärjestys ja juurivalun pois jättäminen	15

5.1.1	Tavanomainen sillankaiteen rakennustapa sillankorjauksessa	15
5.1.2	Kaiteen pystytyksen työvaiheet	16
5.1.3	Pohjoismaissa tyypillinen sillankaiteen juurivalu	18
5.1.4	Juurivalun tarkoitus	18
5.1.5	Juurivalun aiheuttama aikataulu- ja kustannusrasite	19
5.1.6	Kokeiltavana oleva rakennustapa	19
5.1.7	Esiasennuksen onnistumisen varmistaminen itsetiivistyvän betonin käytöllä	20
5.1.8	Kaidepylvään muutokset	20
5.2	Poikkeavien muottimateriaalien käyttö	21
5.2.1	Perinteinen ponttilauta muottimateriaalina	21
5.2.2	Levytavara muottimateriaalina	22
5.3	Itsetiivistyvän betonin käyttö reunapalkin valussa	23
5.3.1	Suomalaisten siltabetonien laadunvarmistus	23
5.3.2	Itsetiivistyvän betonin leviämisen vaikutus	23
5.3.3	Itsetiivistyvällä betonilla saavutettavat edut tavanomaiseen betoniin verrattuna	24
5.3.4	Itsetiivistyvän betonin käytöstä syntyvät haasteet	24
5.3.5	Betonin tiivistämistyön epätasalaatuisuuden aiheuttamat laaturiskit	24
5.3.6	Tiivistystyön haasteita ja inhimillinen muuttuja	25
5.3.7	Suurten pintahuokosten aiheuttama rasitus reunapalkille	26
5.3.8	Suurten pintahuokosten välttäminen	26
5.4	Betonoinnin rajapintojen laatuongelmat	27
5.4.1	Tyypilliset reunapalkin betonoinnin rajapinnat	27
6	KEHITYSHANKKEEN TOTEUTUS	28
6.1	Toteutusympäristön kuvaus	28
6.1.1	Kokeilun aikataulu (toteutunut)	29
6.1.2	Kuvaus Niemen ratasillan betonointitöistä	30
6.1.3	Vertailukohteena oleva Kuokkamaantien silta	32
6.1.4	Havaintoja reunapalkkivalun tiivistystyöstä Kuokkamaantien sillalla tavanomaisella betonilla toteutetussa valussa	32
6.1.5	Kehityshankkeen toteutuksen olosuhteet	32
6.2	Sillankaiteen poikkeava työjärjestys ja juurivalun pois jättäminen	32
6.2.1	Kaiteen esiasennuksen tavoitteet	33
6.2.2	Kaiteen esiasennuksen toteutustapa	33
6.2.3	Juurivalun aiheuttama aikataulurasite Kuokkamaantien sillalla	34
6.3	Muottimateriaalien vertailu	34
6.3.1	Valutulosten analyysi muottimateriaalin suhteen	35
6.3.2	Raakahöylätty ponttilauta	36
6.3.3	Lautakuviainen muottilevy	37
6.3.4	Pinnoitettu vaneri	38
6.3.5	Havuvaneri	39
6.3.6	Yhteenvedo pintojen esteettisistä onnistumisista eri muottimateriaaleilla	40
6.3.7	Muotiniirrotusaineen ja muottikankaan käyttö	40
6.3.8	Teknisten laatuksien vertailu muottimateriaalin ja leviämisen mukaan	42
6.4	Itsetiivistyvän betonin käyttö reunapalkin ja tukimuurien valuissa	45
6.4.1	Itsetiivistyvän betonin leviämisen säätäminen	45
6.5	Tyypillisiä reunapalkin betonoinnin laatuongelmia	45

6.5.1	Reunapalkin kuivumiskutistuman aiheuttama muodonmuutoshalkeilu	45
6.5.2	Rajapinnat Niemen sillalla	47
6.5.3	Rajapintojen onnistuminen Niemen sillalla ja vertailusillalla.....	48
6.5.4	Normaalien laatuvaatimusten täyttyminen	49
6.5.5	Betonointityön onnistuminen itsetiivistyvällä betonilla.....	50
7	KOKEILUN TULOSTEN YHTEENVETO	52
7.1	Kaiteen esiasennus ja juurivalun poisjättäminen	52
7.2	Muottimateriaalien vertailu	54
7.2.1	Lautakuvion onnistuminen	55
7.2.2	Muottimateriaalien vaikutus muihin laatumuuttujiin	55
7.3	Itsetiivistyvän betonin käyttö	55
7.3.1	Vaikutus suurten pintahuokosten määrään reunapalkin sivupinnoilla ..	55
7.3.2	Vaikutus kuivumiskutistumahalkeiluun	55
7.3.3	Valun rajapintojen onnistuminen	56
7.4	Betonointityön onnistuminen kokonaisuutena	56
7.4.1	Kokeilun kokonaisvaikutukset työsaavutuksiin	56
8	JATKOKEHITYSIDEOITA	58
8.1	Muottimateriaalit.....	58
8.2	Kaiteen esiasennus ja juurivalun poisjättäminen	58
8.3	Itsetiivistyvän betonin käyttö sillankorjauksessa	58
8.3.1	Betoniteknologian muut mahdolliset kehityssuunnat.....	59
	LÄHTEET	60

Liite 1	SILLANKORJAUKSEN HISTORIAA
Liite 2	H2-TÖRMÄYSLUOKAN SILLANKAITEEN TYYPPIPIIRUSTUS
Liite 3	REUNAPALKIN BETONOINNIN LAATUMUUTTUJIENTEN VALVONTA
Liite 4	BETONIPINNAN LAATUNORMEJA
Liite 5	KAIDEMUUTOKSEN SUUNNITELMAKUVA
Liite 6	KAIDEPYLVÄIDEN KIINNITYKSEN VARMISTAMINEN
Liite 7	SILLAN OSAT, ASIASANASTOA JA TERMIEN SELITYKSIÄ

1 JOHDANTO

1.1 Sillankorjaus toimialana

Suomen maantieverkossa olevien siltojen ylläpito vaatii säännöllisiä korjaustoimia. Normaalitapauksessa noin 30 vuoden käytön jälkeen sillan pintarakenteet ovat kuluneet tilaan, jossa vesi ja siihen liuennut tiesuola on alkanut rapauttaa sillan kannen ja reunapalkin betonipintoja. Tyypillinen korjaustoimi on sillan betonisen reunapalkin uusiminen, jos siinä on merkkejä raudoituksen korroosiosta ja sitä edistävästä rapautumisesta.

1.1.1 Sillankorjauksen historiaa

Vuodesta 1948 lähtien maantie- ja rautatieverkon sillat ovat suurimmalta osin liikenneväylästä toteutushetkellä ylläpitävän viranomaisen rakennuttamaa ja ylläpitämää (Suomen Rakennusinsinöörien liitto, Siltojemme historia 2004, 36 – 82.). Tämän johdosta sillat on rakennettu kullakin aikakaudella samojen periaatteiden ja tyyppikuvien mukaan, joita on vuosikymmenien kuluessa päivitetty. Myös sillankorjaukseen on viranomaistalon toimesta koottu sillankorjausohjeet, joita seurataan nykyisen Liikenneviraston tilaamissa sillankorjaushankkeissa. Näin on syntynyt SILKO - ohjeisto (Siltojen korjausohjeet, Liikennevirasto 2005), joka antaa yksityiskohtaiset määräykset työtavoista ja materiaaleista sillankorjaustöissä.

1.2 Sillankorjaushanke

Sillankorjaushankkeeseen aloite tulee siltaa ylläpitävältä viranomaiselta. Sillankorjaushankkeiden aiheuttaman liikennehaitan ja toisaalta myös resurssien rajallisuuden vuoksi kynnys hankkeiden käynnistämiseen on melko korkea. Hankkeissa pyritään tekemään kerralla kaikki tarpeelliseksi katsotut korjaustoimet sillan käyttöiän ja – turvallisuuden takaamiseksi ja käyttöiän jatkamiseksi (Liikennevirasto 2010). Lopulta tullaan tilanteeseen, jossa silta korvataan uudella. Tällä hetkellä uusien siltojen käyttöiäksi mitoitetaan tyypillisesti 50 - 100 vuotta. Jatkossa tiesuolan korvaaminen uudentyypeillä kemikaaleilla (Artikkeli, Suomen ympäristökeskus 2004) voi vähentää siltojen korjaustarvetta.

1.2.1 Sillantarkastus

Liikennevirasto tarkkailee siltojen kuntoa teettämällä silloille säännöllisiä sillantarkastuksia. Sillantarkastuksissa tarkkaillaan merkkejä betonirakenteiden rapautumisesta ja betoniterästen korroosiosta, sillankaiteiden ja päällysteiden kuntoa sekä kuivatusjärjestelmän toimivuutta. Mikäli silta vaikuttaa huonokuntoiselta, tehdään sille erikoistarkastus, jossa sillan rakenteita tutkitaan perusteellisemmin ja otetaan tarvittavia näytteitä betonipinnoista tutkittavaksi laboratoriossa. Erikoistarkastetuista silloista viranomainen valitsee kiireellisimmin korjausta vaativat kohteet.

1.2.2 Sillankorjauksen suunnittelu

Suunnitteluun on annettu kattava ohjeisto (Liikennevirasto 2011 Sillankorjauksen suunnitteluohje) sekä kokoelma sitä täydentäviä tyyppikuvia. Näitä täydentävät Eurokoodin suunnitteluohjeet siltojen osalta NCC1. Eurokoodien yhteensovittaminen kansallisen ohjeiston kanssa on käynnissä (Siltatekniikan päivät, Helsinki 29.1.2013, luento Heikki Lilja, Liikennevirasto).

Sillankorjauksen suunnittelussa lähtökohtana on sillan tulevan käyttöiän määrittäminen ja kantavuuden säilyminen. Jotta elinkaaren pidentäminen olisi kontrolloitua, suunniteltujen korjausbetonointien laadunvarmistus työmaatasolla on tärkeää hallita. Betonointipintojen pakkasuolarasitukselle altistumisen estäminen on keskeinen muuttuja sillankorjauksen suunnittelussa ja toteutuksen ohjauksessa. Siksi laadunvarmistuskokeilla on keskeinen rooli korjauksen toteutuksen ohjauksessa. Jo suunnitteluvaiheessa tämä tiedostetaan niin, että prosessin eteneminen on ehdollistettu laatukokeiden tuloksille.

1.2.3 Sillankorjauksen urakointi

Sillankorjauksen toteutustavat ovat muuttuneet vuosikymmenien varrella. Aiemmin toteuttajana oli valtion oma toteutusorganisaatio omalla henkilöstöllään. 1990-luvulta lähtien toteutus on tehty erilaisilla urakointimalleilla, joissa on ollut osallisena niin isoja kuin pieniäkin yhtiöitä kokonaisurakoitsijoina ja erilaisina ketjutettuina urakoina. Moniin erikoistyövaiheisiin, esimerkiksi vesieristys-, tiekaide tai pinnoitustöihin sillankorjaustyömailla on vaadittu erityinen Liikenneviraston työvaiheurakoitsijoiden toimilupa, joka on perustunut referensseihin. Tämä on johtanut siihen, että muutamat erikoistuneet aliurakointiyhtiöt tekevät suurimman osan sillankorjauksen aliurakoista omalla erikoistumisalallaan.

Liikennevirasto on ollut aktiivisesti kehittämässä uudenlaisia hankintamalleja tilaamiinsa hankkeisiin, kuten allianssi-malli, sekä uudenlaisia kannustinmalleja. Monet näistä kannustinmalleista liittyvät nykyisin vallalla olevaan laatuvarmistus-rakentamismalliin. Siinä pääurakoitsija vastaa itsenäisesti työmaallaan tapahtuvasta laadunvalvonnasta ja osoittaa sen kattavalla laadunvarmistusaineistolla rakennuttajalle. Liikennevirasto palkittiin rakennuttajien Rakennuttajaliiton vuoden 2011 parhaana rakennuttajana. Palkinnon perusteena oli aktiivisuus uudenlaisten hankintamallien kehittäjänä (Rakennuttajaliitto, uutisartikkeli internet-sivuilla 2011).

2 KEHITYSHANKKEEN TAUSTAA

SILKO -ohjeisto antaa hyvän ja kattavan perustan sillankorjaushankkeen toteutukselle. Sen rinnalla on kehittynyt InfraRYL, joka täydentää SILKOa erityisesti laadunvarmistuksen osalta. Niiden lisäksi Liikennevirasto on julkaissut kattavan ja yksityiskohtaisen ohjekokoelman siltojen ja sillankorjauksen toteutukseen. Vuosikymmenien kuluessa niistä on muodostunut päivitysten ja koordinoidun kehitystyön myötä detaljintarkka ohjeis-

to, joka kattaa koko prosessin materiaalin toimittajista, työtekniikoista ja työsaavutuksista aina laadunvarmistukseen. Viime vuosina myös Eurokoodisto on suoraan ja välillisesti alkanut vaikuttamaan sillankorjaushankkeiden sisältöön.

2.1 Sillankorjauksen kehittäminen

Rakentaminen toimialana on viime vuosikymmeninä muuttunut rajusti. Käytännön sillankorjaustyötä ei enää johdeta koko työuran mittaisissa virkasuhteissa, vaan urakoimalla tulos- ja laatuvastuullisesti tilaajaorganisaatiolle. Työ on tarkasti ohjattua suunnittelijan ohjeiden ja viitetiedon kautta, joista poikkeamiseen täytyy olla perusteltu syy. Toimihenkilötyön painopiste on siirtynyt työmaakopista toimistolle ja rakennustekniikan perusasioista talouden hallintaan. Tuotannon ketjuuntuminen on etäännyttänyt fyysisen rakennustyön tekijän tuotekehitystyötä tekevistä työryhmistä ja tutkimuslaitoksista. Tällaisessa ympäristössä työmaatasolla tehty tuotekehitystyö on jäänyt paitsioon. Osin tästä syystä työvoimavaltaisen sillankorjauksen työtapoihin, kalustoon ja teknisiin innovaatioihin ei ole investoitu pääurakoitsija ja työvaiheurakoitsijatasolla viime vuosikymmeninä riittävästi. Tämä näkyy siinä, että uudet työtavat ja materiaalit tulevat sillankorjauksen kaltaisille aloille viiveellä ja muusta rakentamisesta kopioituna. Kalusto on usein vanhentunutta ja investointikynnys on korkea.

2.1.1 Kehitysidean toteuttamisen haasteet

Yksittäiset ideat sillankorjaustyössä törmäävät usein osaoptimoinnin ongelmaan. Yksittäinen muutos liittyy aina johonkin toisen työvaiheen rajapintaan aiheuttaen sovitusergelman. SILKOn ja InfraRYLin tarkka ohjeistus ja vaatimukset materiaaleista ja niiden hyväksyttämistä sekä laadunvarmistuksesta nostaa merkittävästi yksittäisen kehitysidean toteutuskynystä.

Tästä syystä kehityshankkeiden on syytä kohdistua kokonaiseen rakennusosaan osaoptimointiongelman välttämiseksi. Kehityshankkeen täytyy olla kustannukseltaan edullinen tai jopa kustannusneutraali. Sen olisi hyvä kohdistua työvoimavaltaiseen rakennusosaan, jossa on paljon työmaatason laadunvarmistusmuuttujia.

2.2 Reunapalkin uusiminen sillankorjauksen osana

Sillankorjauksen tyypillisistä työvaiheista reunapalkin uusiminen on eniten henkilötyötä vaativa työvaihe. Se on työturvallisuuden kannalta haastavin.

2.2.1 Reunapalkin uusimisen tavanomainen työjärjestys

Tavallisesti sillankorjaushanke aloitetaan reunapalkin työtelineen teolla. Työtilan vaatima leveys rajoittaa liikenteelle käyttöön jäävää tilaa. Mootoriteillä pystytään reunapalkit purkamaan niin, että autoliikenteen käyt-

töön jää kaksi normaalilevyistä kaistaa. Normaalilla maantiellä täytyy reunapalkit purkaa yksitellen tai rajoittaa kaistanleveyttä.

Telineen valmistuttua työ jatkuu vanhan kaiteen purkamisella. Tässä vaiheessa työteline on jo valmiina putoamissuojauksena. Tämän jälkeen puretaan vanha reunapalkki varovasti mekaanisella purulla, useimmiten kairavinkoneen lyöntivasaralla. Vanhojen poikittaisterästen tulisi säilyä mahdollisimman ehjänä. Sen jälkeen purkupinta karhennetaan vesipiikkaamalla poistaen irtonainen aines ja pehmeä betoni tartuntapinnasta.

Tämän jälkeen tehdään muotin pohja. Useimmiten poikittaisteräokset vaurioituvat purkutyössä niin paljon, että niitä joudutaan korvaamaan poraamalla tartuntateräksiä kannen liitospintaan. Ne liimataan kemiallisella ankkurimassalla kannen betoniin porattuihin reikiin.

Seuraavaksi tehdään rauditus ja muotin sivupinnat. Ne tuetaan ja sidotaan toisiinsa pukeilla. Valmiiseen raudoitukseen sidotaan sapluunan avulla kaidepylväiden sidontapultit.

Reunapalkki valetaan ja pinta hierretään ja jälkihoidetaan. Aikaisintaan viikko valun jälkeen voidaan muotit purkaa tai kun betoni kuivuminen on saavuttanut 80 % suunnitelmalujuudestaan. Tämän jälkeen voidaan asentaa kaide ja sen siirtymärakenteet, joilla sillan kaide liitetään penkereiden pengerkaiteeseen. Kaideasennuksen jälkeen tehdään kaiteiden juurivalut. Niiden kuivuttua liikenne voidaan ohjata kaiteen viereen, mikäli sillan mahdolliset pintarakenteiden työvaiheet ovat valmistuneet.

2.2.2 Reunapalkin mitat

Uusitun reunapalkin leveys on useimmiten noin 400 - 420 mm. Mitta on kaventunut muutamia vuosia sitten noin 450 mm:stä. Tämä johtuu siitä, että silloisen Tiehallinnon H2-törmäysluokkaan tyyppihyväksytyn kaiteen kiinnityspultteina käytettiin pitkään halkaisijaltaan 20 mm:n pultteja. Kaiteen toiminta törmäystilanteessa tulisi olla sellainen, että pultit katkeavat kovimman törmäyskuorman kaidepylväässä ja sen viereisistä pylväistä pylväiden rungot taipuisivat, mutta pultit säilyisivät ehjänä. Ajojohteiden tulisi sitoa irronneet pylväät muihin. Näin toimiessaan kaide tuottaa ajoneuville mahdollisimman joustavan pysähdyksen samalla estäen ajoneuvoa putoamasta sillalta. Kokemuseräisesti on kuitenkin havaittu, että 20 mm:n pultit ovat liian vahvoja, eivätkä katkea törmäystilanteessa. Tästä syystä tällä hetkellä käytetään halkaisijaltaan 16 mm:n pultteja pulttiryhmissä. Myös kaidepylvään kiinnityslaippa on kaventunut 250 mm:iin, josta syystä reunapalkin leveydeksi voidaan mitoittaa 400 mm.

Reunapalkin korkeus riippuu sillan muista rakenteista kuten esimerkiksi kansilaatan paksuudesta. Useimmiten se on välillä 450 - 800 mm.

Sillankaide jatkuu tyyppillisesti samanlaisena maatuon siipimuurien loppuun asti. Siksi myös reunapalkki jatkuu siipimuurien päihin asti. Mahdollisten liikuntasaumojen kohdalta palkki katkaistaan liikuntasaumalla ja sauma tiivistetään vesitiiviiksi.

2.2.3 Reunapalkin tehtävä

Reunapalkin oma massa on osa sillan staattista eli pysyvää kuormaa, joten sen mitoitus on syytä tehdä tehokkaasti. Reunapalkki ei ole laskennallisesti kantava rakenne (Liikennevirasto, Eurokoodien sovellusohje: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet -NCC1 2010, 10 - 12) kuormia siirtävässä mielessä. Dynaamisten liikennekuormien laskennassa käytetään ns. kuormakaistaperiaatetta, jossa ei huomioida hyötyleveyden ulkopuolisia rakenteita. Reunapalkin tärkein tehtävä on muodostaa tukirakenne sillankaiteelle. Kaidepylvään kiinnitystapana on betonoinnin yhteydessä reunapalkkiin valettu pulttiryhmä (liite 2.). Samalla reunapalkin kannen yläpuolelle nouseva osa toimii törmäysesteenä kaiteeseen mahdollisesti törmäävälle ajoneuvolle. Se on myös matala roiskesuoja sillan alittavalle liikenteelle, junaradalle tai vesistölle.

2.2.4 Reunapalkkiin kohdistuva kloridirasitus

Keskeisenä rasiustekijänä on tiesuolauksen aiheuttama riski reunapalkin betoniterästen korroosiolle. Ehjän betonirakenteen sisällä vallitsee emäksinen pH-taso. Emäksinen betoni johtaa huonosti sähköä ja muodostaa terästen pinnalle eristävän kalvon. Veteen liuennut tiesuola on lievästi hapan liuos, joka sisältää klorideja. Imeytyessään halkeamia pitkin betoniin kloridit joutuvat kosketuksiin terästen kanssa jolloin terästen pinnalla syntyy rautaioneja, eli syntyy katodireaktio. Tämän prosessin jäännöksenä vapautuu happea. Happiatomit pelkistyessään sitovat vapaita elektroneja eli tapahtuu anodireaktio. Jos betonissa on lisäksi vapaata vettä, elektroneja voi siirtyä anodilta katodille. Anodin ja katodin jännite-eron tasaantuminen aiheuttaa sähkövirran, joka mitätöi betonin muodostaman sähkökemiallisen kalvon. Näin hapettuminen eli korroosio alkaa. Prosessi tuottaa vapaita happea ja rautaioneja jotka pitävät korroosion käynnissä. (VTT, Pertti Pitkänen, Korroosion ainetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät 2006, 8 - 9.).

Korroosiolle altistuneen teräksen pinnalle kertyy korroosion muodostamia ainejäämiä. Ainejäämät sitovat kosteutta, jonka vuoksi niiden lämpölaajeneminen on suurempaa kuin reagoimattoman teräksen eli terästangon tilavuus pyrkii suurenemaan. Myös rikkoutuneen ja kosteutta sitoneen betonin tilavuuden lämpövaihtelu on suurempaa kuin ehjän betonin. Paisuessaan lämpöliikkeessä kostuneet ainejäämät pyrkivät halkaisemaan betonia. Usein korroosion käynnistänyt kloridipitoinen kosteus on päässyt kosketuksiin betoniterästen kanssa halkeamaa pitkin imeytymällä. Näin syntyy itseään kiihdyttävä prosessi, joka halkaisee ja rapauttaa terästen suojabetonipeitettä reunapalkista. Korjausikäisten siltojen reunapalkeissa on usein rapautumisen vuoksi kokonaan paljastuneita hapettuneita teräksiä.

2.2.5 Reunapalkin betonoinnin laatuvaatimukset

Kaidepylväiden kiinnityksen lujuus ja kaiteen kiinnityspultteja tukevien betoniterästen suojaaminen korroosiolta ovat keskeisiä laatutekijöitä reunapalkin korjausbetonoinnissa. Betonin P-lukuvaatimuksen täyttyminen,

eli betonia pakkas-suolarasitukselta suojaavan ilmahuokostuksen onnistuminen lisää reunapalkin käyttöikä. Reunapalkin betonoinnin laatumuuttujat (liite 3.) keskittyvät seikkoihin, jotka vaikuttavat betonin lujuutta ja käyttöikä madaltavien työvirheiden ehkäisyyn. Näiden laatumuuttujien kontrollointi tapahtuu työmaatasolla laatuokein, tarkkailemalla työtapoja ja varmistamalla korjaussuunnitelmassa annettujen materiaali vaatimusten toteutuminen.

Työmaatasolla tarkkailtavat betonoinnin laatumuuttujat voidaan jaotella ajallisesti. Ennen valua tehdään työn ennakkosuunnittelu ja ohjeistetaan betoniasemaa tekemään laadunvarmistus, kuten betonisuhteituksen ennakkokokeet ja liikenneviraston tilaamissa siltabetonoinneissa poikkeuksellisesti vaadittujen betoniaseman puristuskoekappaleiden teko. Rasitusluokkia ja huokosilmämäärien tavoitetasoa korostetaan betonitilauksen yhteydessä. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä tulee tehdä myös betoniasemakohtaisesti kutistumiskoepalkki ja J-rengaskoe (InfraRYL 42020, liite 4.). P50-tason huokosbetonista tutkitaan huokosjako laboratoriokokeella. Raudoitustarkastuksessa pyritään varmistamaan suojaetäisyyksien toteutuminen.

Betonoinnin aikana tarkkaillaan silmämääräisesti betonimassan laatua, työtapoja ja kirjataan olosuhteet. Huokostetuille eli P-lukumassoille tehdään ilmamäärämittaukset, joilla varmistetaan tavoitteen mukainen ilmamäärä. Siltabetoneista tehdään jokaisesta betonierästä sekä betoniasemalla, että työmaalla säilytettävät puristuskoekappaleet, jotka puristetaan 28 vuorokauden iässä. Itsetiivistyvälle betonille tehdään leviämä-painumakoe.

Muotin purun jälkeen tarkastellaan valupintoja ja seurataan halkeamien muodostumista. Raudoitusten suojaetäisyyden toteutumista voidaan tutkia vielä valun jälkeen betonia rikkomatta profometrilaitteella.

2.3 Perinteisen puumuotin ja telineen aiheuttamat haasteet

SILKOn ohjeistus reunapalkin valamiseen on perustunut perinteiseen tapaan tehdä raudoituksen ympärille pontitetusta höyläämättömästä puutavarasta muotti. SILKOssa mainitaan (SILKO 2.211, 2) ”Uusi reunapalkki ei saa erottua häiritsevästi ympäröivästä betonipinnasta”. Puutavarasta tehty muotti on voitu tukea puutavarasta tehtyyn työtasoon. Puurunkoinen muotti on ollut ”vanha hyvä tapa”, eikä urakoivilla yhtiöillä ole ollut intensiivisiä sen muuttamiseen. Metritavarasta tehty puumuotti on kuitenkin alkanut kohdata haasteita.

Ulokkeen reunaan ripustamalla tuettu kolmiulotteinen muottirakenne on kirvesmiestyönä erittäin haastava työsuoritus. Yleisin käytetty muotin toimintaperiaate on sillan kannen reunaulokkeeseen ripustettu muottityötelinekokonaisuus. Jos sillan alittava maasto tai liikenne ei haittaa kohduttomasti, voidaan matalien siltojen reunapalkkien muotteja tukea maavaraiseen telineeseen. Palkin tilavuuteen nähden puutavaran menekki on huomattava molemmissa tapauksissa. Betonin aiheuttaman valupaineen johdosta puiden yhteennaulaus, muottia tukevat reivaukset ja kannattavan telineen tuenta on tehtävä huolellisesti varautuen kaikkiin työnaikaisiin

kuormiin. Suurimpana kuormana on vanhan reunapalkin purkutyössä syntyvä työtelineelle putoava betonin purkujäte. Samalla syntyy huomattava riski työtelineen vaurioitumiseen. Jo pieni liike muotissa tai telineessä aiheuttaa muodonmuutoksia lopputuotteeseen. Toteutuksessa on huomioitava toisaalta myös telineen ja muotin purkamisen sujuvuus, joten liiallista lujuutta on syytä välttää.

2.4 Työturvallisuuden kehittäminen sillankorjauksen kannella tehtävissä töissä

Viime vuosikymmeninä suomalaisen rakentamisen työturvallisuuskulttuurissa on tapahtunut merkittävä muutos. Suunnannäyttäjänä on ollut talonrakennuksen kansallisesti näkyvät suuret projektit, joiden kautta ylikansalliset rakennusliikkeet ovat tuoneet kansainvälistä työturvallisuuskulttuuria Suomeen. Joidenkin vuosien viiveellä nämä uudistukset siirtyvät infrarakentamiseen.

Viime vuosikymmenen teemana työturvallisuuden kehitystyössä on ollut putoamissuojaus. Kaikille rakennusalalla toimiville on eduksi, jos putoamisvaarallisia töitä kehitetään suuntaan jossa niiden kokonaismäärä vähenee.

Työergonomia, pöly- ja tärinäsuojaukset on lähivuosina työsuojelutyön keskiössä myös infrarakentamisessa. Paras tapa mahdollistaa työsuojelun kehittyminen on suosia prosesseja ja materiaaleja, joissa mahdollisimman suuri osa työstä tehdään teollisesti esivalmistettuna, hyödyntäen materiaalien ja kaluston tarjoamia mahdollisuuksia.

2.4.1 Reunapalkin tuottamisen erityiset työturvallisuusriskit

Ulokkeen reunalla työskenneltäessä on jatkuva putoamisvaara. Liikenne kulkee usein ahtaasti lähellä työskentelyaluetta, ja mahdollisella alapuolisella liikenteellä ja työskentelyllä on jatkuva putoavan materiaalin uhasta syntyvä tapaturmariski. Suurin osa muotitus- ja raudoitustyöstä on tehtävä ulokkeen ulkopuolelle ripustetulta tai maasta tuetulta työtelineeltä. Puumuotti ja betonin raudoitus rakennetaan kappaleittain, jonka työstö tehdään ulokkeella tai telineellä melu- ja pölytyönä käyttäen aisteja rajoittavia henkilösuojaimeja. Ripustusmekanismiin kohdistuvien vääntövoimien ja materiaalienkin kohtuullistamisen vuoksi työtelineen leveys on syytä pitää minimissä, eikä korkeusasema voi olla kovin paljon reunapalkin pohjatasoa alempana. Tästä johtuen suuri osa telineellä tehtävästä raudoitus- ja muotitustyöstä tehdään kumartuneena tai polvillaan, eli työergonomia on huono reunapalkin työtelineellä työskenneltäessä.

2.5 Muottijärjestelmien kehitystilanne kansainvälisesti ja Suomessa

Reunapalkin valumuotin mittatarkkuus on tarkasti määritelty poikkileikkauksen suhteen. Tämä johtuu suolapakkasrasitettujen reunapalkkibetonin raudoitukselle asetetusta korostetun tarkasta betonipeitteen suojaetäisyyden määrittelystä (BY-50 2012, Suomen betoniyhdistys, taulukko 2.17, 75). Myös tasausviivan suuntainen dimensio on tarkka johtuen ajokaistan

ja hyötyleveyden tarkasta määrittelystä. Kolmas ulottuvuus eli korkeus-asema ei sen sijaan voi olla kovin tarkka. Maantiesillat ovat usein maaston korkeimmassa tai matalimmassa kohdassa, jonka vuoksi ne ovat usein sivuprofiililtaan kaarevia myötäillen tulopenkereiden tien korkeuskäyrää. Vanhat kansirakenteet taipuvat ja kiertyvät maatukien hakiessa paikkaansa, eikä valutyö ja mittaustekniikka ole korjausikäisten siltojen rakentamisaikana ollut nykyisellä tasolla. Välituellisissa silloissa sillan kansi on usein hieman painunut välitukien välissä.

Edellä mainituista syistä siltojen korjattavat reunapalkit ja ulokevalut olisivat erityisen otollisia kohteita moderneille muottijärjestelmille ja valutekniikoille, kuten kasettimuoteille, painevaluille, liukuvaluille ja niihin yhdistetyille telinejärjestelmille. Muussa rakentamisessa on siirrytty teollisesti valmistettuun muottilevyyn ja metallirunkoisiin muottijärjestelmiin ja telineisiin. Tämän johdosta on syntynyt tarve kokeilla uudenlaisia materiaaleja ja kartoittaa niistä mahdollisesti saatavaa hyötyä ja toisaalta riskejä myös sillankorjaushankkeissa.

2.5.1 Olemassa olevien järjestelmien soveltuvuus suomalaiseen sillankorjaukseen

Reunapalkin betonointiin suunniteltuja järjestelmiä on jo olemassa. Eurooppalaisten suurten ylikansallisesti toimivien muotti- ja telinejärjestelmätoimijoiden valmiit tuotteet skaalautuvat kuitenkin huonosti suomalaiseen pienen mittakaavan sillankorjaukseen. Suurimpina haasteina järjestelmien yleistymiseen on markkinoiden ja toimituserien pienuus, toisaalta lautamuotteihin perustuva rakennustapa. Yksittäisiä tuotteita on yritetty tuoda Suomen markkinoille, mutta ne eivät ole saaneet suurta markkinaosuutta.

Tästä syystä tulisi kehittää suomalaisista lähtökohdista uusia kevyitä järjestelmiä, joissa kierrätettävien osien voitaisiin tuottaa vakiomittaisia reunapalkkeja nopeasti ja kustannustasoa nostamatta ilman suuria kertainvestointeja. Ensimmäinen askel tässä kehitystyössä on tutkia miten reunapalkin pinta voidaan tuottaa SILKO -ohjeen ja BY -betoninormien (BY-40 2003, Suomen betoniyhdistys) hengessä levytavarasta tehdystä muotista.

2.6 Betonipintojen huokosongelma ja betonointityö

Betonin laadussa ja sen hallittavuudessa on tapahtunut kehitystä. Betonivalun toteuttamiseen liittyy monia laaturiskejä, joita voidaan hallita. Itsetiivistyvä betoni sopii hyvin moniin työvaiheisiin niin uudissiltojen kuin sillankorjauksenkin betonointitöissä. Itsetiivistyvän betonin seuraava sukupolvi on kevyesti tiivistettävä betoni eli ns. semi-itsetiivistyvä betoni (Suomen betoniyhdistys, luento Sini Ruokonen 2012), joka on välimuoto rakennebetonin ja itsetiivistyvän betonin välillä. Vesitiiviyyttä lisäävät ja halkeilua vähentävät lisäaineet ovat luonnollinen kehityssuunta siltabetoneissa. Tämän vuoksi on tärkeää kerätä tietoa ja kokemusta uusista betonityypeistä ja betonoinnista niillä.

Huokosbetonille on tyypillistä kosteuden imeytyminen sen pintaan. Tämän vuoksi siltojen reunapalkit impregnoidaan niiden kuivuttua riittävästi. Impregnoinnilla tarkoitetaan betonin pintahuokosten täyttämistä vahamaisella impregnointiaineella. Aine on levitettäessä hyvin juoksevaa, jonka vuoksi reunapalkin sivupinnan impregnointi on osaamista vaativa työvaihe. Impregnointiaineita on pääasiassa kahdenlaisia, ruiskutettavia ja geelimäisiä. Geelimäisessä versiossa itse geeli toimii vain sideaineena, johon varsinainen impregnointiaine on imeytetty. Ajatuksena on, että geeli lepää muutaman vuorokauden reunapalkin pinnalla ja haihtuu vähitellen. Geeliin sidottua impregnointiainetta vapautuu ja se imeytyy betonin pintahuokosiin. Tästä syystä impregnoinnin onnistumiseksi betonointipinnassa tulisi olla sopivasti karheutta ja se hiekkapuhalletaan ennen impregnointia, sillä geeli ei tartu liian sileään eikä imeydy sementtiliimaiseen pintaan.

Impregnointiaine on suhteellisen kallista. Siksi sillankorjauksessa suositetaan geelimuodossa olevaa ainetta, koska ruiskutettavan aineen hukkaprosentti on huomattava. Hyvin onnistunut impregnointi tekee betonipinnasta miltei täysin vettä hylkivän. Impregnointikäsitteilyn vaikutusaika on onnistuessaan jopa 15 vuotta.

2.7 Pääurakoitsijan rooli ja laatuvastuu Liikenneviraston tilaamissa hankkeissa

Liikenneviraston tilaamissa hankkeissa pääurakoitsijan rooli korostuu. Pääurakoitsijalla on kaksoisrooli tuottajana ja samalla tuotannon valvojana. Tätä tuotantomallia kutsutaan laatuvarusturakentamiseksi. Laatuvarusturakentamisessa pääurakoitsija kantaa vastuun kokonaisen rakennustuotteen vaatimustenmukaisuudesta. Osa laatua ja vastuullista yhteiskuntarakentamista on työn nopea toteutus liikennehaitan minimoimiseksi kohtuullisella kustannustasolla. Tästä syystä työn viimeistelytarkkuuden ja toteutuvan ramin (ram on yleisesti rakennusosalalla käytössä oleva termi, jolla tarkoitetaan rakennusammattimiestä) huolellisuuden parantaminen ei ole kokonaisuuden kannalta paras tapa hakea kustannustehokasta laatua. Tässä toimintaympäristössä pääurakoitsijalle on hyödyllistä hakea toteutustapoja, joissa laaturiskit ovat pienet. Materiaalivalinnoilla saavutettavia etuja on syytä suosia.

2.7.1 Uusien betonilaatujen tuomat mahdollisuudet

Uusien betonilaatujen myötä betonointityö muuttuu erilaiseksi. Pääurakoitsijaorganisaatiolle on hyödyllistä kerätä osaamispääomaa uusista työtavoista, sekä materiaaleista ja niiden vaikutuksista käytännön toteutukseen ja laaturiskeihin. Hyvä tavoitetila on laaja valikoima hyvin hallittuja prosesseja, materiaaleja ja työjärjestyksiä, joista voidaan valita hanketehokkaasti parhaiten soveltuvat tavat toteutukseen.

3 KEHITYSHANKKEEN SISÄLLÖN MUOTOUTUMINEN

3.1 Kehityshankkeen aiheen valinta

Aiheen valintaan vaikutti toteutusympäristö, aiheen tuotannollinen ja taloudellinen merkitys sekä soveltuminen tilaavan yhtiön kehityskohteeksi. Rakennuttajan hyväksyntä oli ehdoton edellytys hankkeen toteutukselle. Hanke tulitaisiin toteuttamaan työmaatasolla. Siksi tutkittavaksi valittavien muuttujien tuli olla sellaisia, että niihin voi aidosti vaikuttaa työmaatason päätöksillä.

3.1.1 Toteutusympäristön aiheuttamat rajaukset kehityshankkeelle

Työkohteena oli sillankorjaushanke josta aiheutui merkittävää liikennehaittaa yhdelle Lahden vilkkaimmista sisääntuloteistä. Tästä syystä kokeilu ei voinut kohtuuttomasti pidentää työaika. Työn toteutuksen ennakkosuunnittelu täytyi tehdä niin, ettei merkittävää töiden epäonnistumisen riskiä syntynyt.

Liikenneviraston hankkeissa on perusteellisesti ja tarkasti määritelty työvaiheet, tyyppipiirustukset ja työselitykset. Työtä ohjaa SILKO -ohjeisto, InfraRYL sekä työmaakohtaiset suunnitelmat. Rakennusosien toteutus on määritelty tyyppikuvien ja yleisin työselityksin. Kehityshankkeen sisältöön ei voinut sisältyä kohtuutonta määrää näiden ohjeiden kanssa ristiriidassa olevia ajatuksia ja toteutustapoja.

Viime vuosina Liikenneviraston omat ja tukemat sillankorjauksen kehityshankkeet ovat suuntautuneet betonilaatuihin ja muottijärjestelmiin. Kaiteisiin liittyvää ohjeistoa ollaan juuri päivittämässä. Kehityshankkeen oli hyvä olla linjassa sillankorjauksen yleisen kehityssuunnan kanssa.

3.1.2 Tyypillisiä betonoinnin laatuongelmia reunapalkin betonoinnissa

Usein toistuvia laatuongelmia reunapalkin betonoinnissa ovat betonipinnan huokosongelmat, nurkkadetaljen onnistuminen, valmiin tuotteen halkeilu ja pinnan väri vaihtelut. Muotin nurkissa kohdissa, joissa massa kulkee tiheään raudoituksen läpi, esiintyy usein veden erottumista massasta muotin vuotaessa. Silloin pintaan jää paljasta kiviainesta kun sideaine va-
luu veden mukana ulos muotista.

Harvinaisempia, mutta haitallisempia laatuongelmia ovat harvavalut, jotka aiheutuvat pääsääntöisesti tiivistyksen epäonnistumisesta.

Kaidepylvään juurivalut halkeilevat usein, niiden tartunta alustaan on huono ja niiden korjaus aiheuttaa usein takuutöitä.

3.1.3 Laatuongelmien aiheuttamat ongelmat pääurakoitsijaorganisaatiolle

Laatuongelmien hallinta on tärkeä muuttuja pääurakoitsijaorganisaation prosessien kehityksessä.

Laatuongelmat aiheuttavat huomattavaa kustannus- ja resurssirasitetta pääurakoitsijaorganisaatiolle. Laatuongelmien satunnaisuus tekee niistä hankalia ennustaa. Laatuongelmien korjaaminen työmaan valmistumisen jälkeen on erityisen kallista, koska se vaatii ylimääräisiä työmaajärjestelyjä ja toimihenkilötyötä.

3.1.4 Työtapojen kehitystarve

Betonin pintahuokosten hallinta ja nurkkadetaljien onnistuminen on haasteellista huolellisestikin toteutetussa reunapalkin betonoinnissa.

Reunapalkin valutapahtuma on paljon resursseja vaativa työvaihe. Pitkissä reunapalkeissa tarvittavien resurssien tarve ylittää työmaan keskimääräisen ram-miehityksen. Siksi työtapojen olisi syytä kehittyä suuntaan, jossa kaikki työvaiheet voidaan toteuttaa työmaan keskimääräisellä miehityksellä. Pienissä sillankorjausurakoissa tyypillinen miehitys on noin 4-6 ramiä.

Uudet työtavat voivat synnyttää toteutusorganisaatiolle kilpailuetua. Vaihtoehtoiset toteutusmallit helpottavat työmaan kokonaisuuden hallintaa.

3.1.5 Kaidepylvään juurivalun aiheuttamat laaturiskit ja aikataulurasite

Kaidepylvään juurivalu on vaikeasti toteutettava ja sen tarpeellisuus on kyseenalainen. Se aiheuttaa moninaisia laaturiskejä ja aikataulu- ja resurssirasitteita, kuten:

- Se on verrattain monimutkainen työvaiheiltaan
- Tartunta tuoreeseen reunapalkin pintaan on kyseenalainen ja tartuntapinnan hiekkapuhallus tai muu karhentaminen ja jälkihoitoaineen poisto tartuntapinnalta on hankalaa pulttiryhmän pulttien päiden sinkityksen suojaamiseksi
- Vaikka juurivalu tehdään kutistumattomalla juotoslaastilla, ei alapuolinen reunapalkki useinkaan ole täysin kutistunut, joten tartunta voi epäonnistua
- Kymmenien kolmiulotteisten muottien valmistus ja asennus vaatii ammattitaitoa ja viitseliäisyyttä
- Huonoissa sääoloissa juurivalu vaatii suojausta ja mahdollista lämmitystä kovettuakseen. Pahimmassa tapauksessa myöhään syksyllä juurivalun teko voi siirtyä kevääseen
- Liikennehaitan poistamisen kiireen vuoksi juurivalutyöt tehdään usein ilta- ja yötyönä
- Työergonomia on surkea
- Juurivalu sotkee kaiteen juurilaipan laastitahroihin

- Huolellisestikin tehty juurivalut saattavat murtua ja lohkeilla esimerkiksi sillankaiteen jännitysten ja lämpöliikkeen vuoksi vaatien takuukorjauksia ja ylläpitoa
- Kaideosien asennustoleranssit ovat selvästi pienemmät kuin pulttiryhmiä todelliset asennustoleranssit. Tästä syystä kaidepylväiden säätövarasta vain pieni osa on käytössä
- Pulttiryhmiä mahdollisten työvirheiden korjaus on teknisesti erittäin haasteellista ja heikentää usein kaiteen lujuutta
- Liikennettä ei voi turvallisesti ohjata kaistalle ennen kuin sillankaiteen juurivalut on tehty ja kovettuneet. Usein tämä johtaa käytännössä väliaikaiseen kaiteen törmäyssuojaukseen ja ylimääräisiin liikennejärjestelyihin.

Sillankaiteiden ja niiden kiinnitystapojen kehittäminen suuntaan, jossa juurivaluja ei tarvita, on yleinen tahtotila sillankorjausurakoinnin toteutusorganisaatioissa.

3.1.6 Muottijärjestelmien kehitystarve

Kehityshankkeen tilaavalla yhtiöllä on aikaisemmista projekteista kokemusta Suomessa markkinoidusta muottijärjestelmästä. Kokemusten perusteella yhtiöllä on kiinnostusta kehittää reunapalkin muotti- ja telinejärjestelmiä.

Työmaalla tehtävän kirvesmiestyön tuotannonohjaus on haastavaa ja sisältää monia riskejä pääurakoitsijaorganisaatiolle, kuten laaturiskin, osaamisen saatavuuden, aikatauluriskin, työturvallisuusriskejä sekä monenlaisia logistiikkaan liittyviä ongelmia.

Muun rakentamisen kehityssuunta on ollut kohti teollisia muottijärjestelmiä.

Puutavarasta tehty muotti on toistaiseksi edullisin. Joitain vuosia sitten korkeasuhdanteen aikaan nähtiin kuitenkin sahatavaran huomattavaa hinnannousua.

Puujätteestä aiheutuu välillisiä kuluja ja tilantarvetta työmaalla. Naulainen puujäte ja erityisesti puutelineen purkutyö sisältää merkittäviä työturvallisuusriskejä.

Puuteline vaurioituu helposti. Sen kuormituslaskenta ja sidontatapa sillan betonirunkoon sisältävät epävarmuustekijöitä.

3.1.7 Työjärjestysten kehitystarve

Kaiteen pystytystyö pidentää liikenteelle aiheutuvan haitan aikaa, koska se tehdään vasta reunapalkin valumuotin purkamisen jälkeen. Tämän jälkeen on vielä tehtävä kaidepylvään juurivalu.

Kaiteen pystytystyöhön vaaditaan periaatteessa Liikenneviraston hyväksymä erikoisurakoitsija. Useitakin siltoja käsittävissä sillankorjausprojekteissa kaiteet asennetaan yksitellen. Tämä aiheuttaa pääurakoitsijalle merkittävää riippuvuutta kaideurakoitsijasta ja välillisen aikatauluriskin.

Yhtiön työprosesseissa on hyvä olla useita vaihtoehtoja, jolloin aikataulujen hallinta helpottuu ja toiminta tehostuu.

4 KEHITYSHANKKEEN SISÄLTÖ JA RAJAUS

4.1 Tilaavan yhtiön reunaehdot kehityshankkeen aiheen valinnalle

Kehityshankkeen tilaava yhtiö haluaa kehittää sillankorjauksen työtapoja, työturvallisuutta ja sillankorjauksen pääurakoinnin tuotannonohjausta kokonaisuutena. Kehityshankkeen painopiste tulisi olla laatuongelmien ehkäisy ja hallinta. Sen tulisi kohdistua työvoimavaltaiseen työvaiheeseen jossa on paljon laatumuuttujia. Yhtiö haluaa osallistua muotti- ja telinejärjestelmien kehitystyöhön. Kehityshanke ei saa sisältää kohtuuttomia riskejä Liikenneviraston laatuvaatimusten suhteen. Työturvallisuus työmaalla ja mahdollisessa uudessa työprosessissa ei saa olla nykyistä huonompi ja mahdollisuudet työturvallisuuden kehittämiseen huomioidaan kokeilun jokaisessa vaiheessa.

Näistä lähtökohdista oli luontevaa valita kehitettäväksi työvaiheeksi reunapalkin uusiminen painottaen laatusiikkoja.

Koska kaikki edellä mainitut seikat koettiin tärkeäksi, ja osaoptimointi koettiin ongelmaksi, oli parasta tarkastella reunapalkin betonointia kokonaisuutena.

4.2 Kehityshankkeen sisältö

Kehityshankkeessa haettiin ratkaisua reunapalkin ja tukimuurien betonointitöissä usein esiintyviin työvirheisiin ja laatuongelmiin kuten valupintaan jäävät suuret huokokset, nurkkadetaljien onnistuminen ja muotin ahtaiden kohtien täyttyminen. Samalla haluttiin tutkia mahdollisuutta tehdä muotti levytavarasta ponttilaudan sijaan sekä muuttaa työjärjestystä sillankaiteen pystytyksessä, joka mahdollistaisi juurivalun poisjättämisen.

Toteutusmuotona oli käyttää erilaisia materiaaleja ja työjärjestyksiä ja dokumentoida analysoiden näiden muutosten vaikutuksia tarkasteltaviin laatu-, aikataulu- ja kustannusmuuttujiin. Myös muut hankkeen aikana esiin tulevat hyödylliset havainnot ja ideat kirjattiin.

Tarkastelu tehtiin työkohteen näkökulmasta tarkastellen muuttujia, joihin voi vaikuttaa hanketasolla tehtävillä ratkaisulla. Periaatteena oli tehdä kokeilut noudattaen SILKOn ja InfraRYLin ohjeita sekä muita Liikenneviraston sillankorjaukseen sovellettavia tyyppikuvia ja julkaisuja. Muutamaa hankkeen detaljia lukuun ottamatta näitä ohjeita pystyttiin noudattamaan.

Erityisesti mainittavina poikkeamana oli juurivalun poisjättäminen ja joidenkin muottimateriaalien ominaisuutena sileäpintaisuus. Näille poikkeamille haettiin periaatteellinen hyväksyntä tilaajaorganisaatiolta, vastuu muutoksista ja niiden vaikutuksista oli tuottavalla organisaatiolla. Keskeinen rajausta oli, ettei työturvallisuus saa huonontua kokeilun missään vaiheessa. Liikenneturvallisuuden säilyminen työn aikana ja lopputuotteen osalta pohdittiin tarkkaan, ja kaidepylväiden pohjavalun onnistuminen varmistettiin erityisellä kokeella. Kokeessa yksittäisiä kaidepylväitä purettiin kaiteesta ja irrotettiin alustasta. Koe osoitti kiinnityslaipan alustan täytyneen hyvin (liite 6.).

4.3 Kehityshankkeen dokumentointi

Reunapalkin, tukimuurien ja sillankaiteen muodostaman kokonaisuuden tuottamista tarkasteltiin rakennusosittain analysoituna kokonaisuutena, jossa huomioitiin myös kokeilun aikana huomautetut muut haasteet. Tavoitteena on tuottaa kokonainen laatuvaatimukset täyttävä sillanosa käyttäen poikkeavia materiaaleja ja työjärjestyksiä. Näiden muutosten vaikutus työn lopputulokseen analysoidaan valupintaa ja työn toteutuksen hallittavuutta analyttisesti tarkastelemalla. Työsaavutusten ja tuotannon riskien muutokset kirjataan ja analysoidaan. Työturvallisuuden kehitysmahdollisuudet kirjataan.

4.4 Kehityshankkeen tavoite

Kehityshankkeen tavoitteena on tuottaa tilaavan yrityksen käyttöön kokonaisvaltainen kuvaus uudesta työprosessista ja samalla referenssi mahdollista jatkokehitystä ja tulosten hyödyntämistä varten. Samalla saadaan kerättyä ja dokumentoitua tietoa ja osaamispääomaa yrityksen työtapojen kehittämiseen.

4.5 Kehityshankkeen raportoinnin rajaus

Tässä tarkastelussa ei raportoida hankekohtaisia tietoja, kuten rahasummia, määrämuutoksia ja muita hankkeessa tilaajan kanssa tarkasteltavia kahdenvälisiä laatuasioita.

Betonointitöiden laatuaineistosta dokumentoidaan vain kokeilun aiheeseen välittömästi liittyvät muuttujat. Rakennekuvia, hankkeen aikatauluja, työselityksiä ja laadunvarmistusaineistoa ja muutakaan hankekohtaista tietoa ei selvitetä tarkemmin muuten, kuin kehityshankkeen analysointiin tarvittavin osin. Matalan rakenteen vuoksi muottien rakenne ei juuri poikennut tavanomaisesta muuten, kuin levyjen osalta, joten muottisuunnitelmia ei yksityiskohtaisesti dokumentoida. Muotin rakenne erottuu osittain raportointiin liitetystä valokuvasta.

Käytetyn betonin osalta ei dokumentoida laboratorio- tai vastaavia kokeita, kuten InfraRYLin ja SILKOn vaatimia P-lukubetonin ennakko-kokeita. Betoninvalmistajalta saatuja laboratorio ja suhteutustietoja ei dokumentoi-

da. Valmista tutkimustietoa, kuten Betoniyhdistyksen BY -normeja ja yleistä julkaistua siltabetonien tutkimustietoa, hyödynnetään.

5 KEHITYSHANKKEEN OSITUS

Kehityshankkeessa oli kolme pääkohtaa, jotka yhdessä muodostavat kokonaisen vaihtoehtoisen työtavan reunapalkin betonoinnin toteutukseen.

Osia ei voi toteuttaa yksittäin, vaan yksittäiset osamuutokset täytyy sovittaa kokonaisuuteen.

Kokeilun pääkohdat olivat sillankaiteen poikkeava työjärjestys ja juurivalun pois jättäminen, levytavarain ja sen erilaisten pintamateriaalien ja pintakuvioiden käyttö muottimateriaaleissa, sekä itsetiivistyvän betonin käyttö reunapalkin betonoinnissa. Seuraavassa kappaleessa on eritelty ositelluna kokeilun sisällön pääperiaatteet.

5.1 Sillankaiteen poikkeava työjärjestys ja juurivalun pois jättäminen

5.1.1 Tavanomainen sillankaiteen rakennustapa sillankorjauksessa

Sillankaide on liikenneturvallisuuden kannalta merkittävä rakennusosa sillassa. Sillankaiteen osat, niiden valmistus ja asennus (liite 2.) on tarkasti valvottua (InfraRYL 2006, 42451) (Liikennevirasto 2012, Siltojen kaiteet) ja ohjattua. Tyyprikaiteita on testattu ja tutkittu laajasti. Heinäkuusta 2013 lähtien kaideosien on oltava CE -hyväksyttyjä. Pääsääntöisesti sillankaiteet teräsbetonisilloissa ovat joka puolella maailmaa suurin piirtein samantyyppisiä. Materiaalit ovat säänkestäviä, Suomessa kuumasinkittyjä, muualla myös ruostumatonta tai muuten pinnoitettua terästä.

Kiinnitysratkaisuissa on ollut jonkin verran vaihtelua vuosien saatossa. Yksinkertaisin tapa on juottaminen tai upotusputken valaminen reunapalkkiin. Hyvin yleistä on myös pulttien valaminen reunapalkkiin jälkivaluna palkkiin jätettyyn varausaukkoon. Nyt korjausaiässä olevissa 70 - 80-luvuilla rakennetuissa/korjatuissa silloissa on hyvin usein juotetut kaidepylväät. Betoniset ukkopylväät sillan päissä on korvattu vahvistetulla vinojohteella eli siirtymärakenteella (liite 2.).

Miltei kaikki sillankaiteet Suomessa sillankorjausten yhteydessä uusitaan tyypikkuvien mukaisella kuumasinkityllä kaiteella, joka kiinnitetään reunapalkkiin valettuun pulttiryhmään. Ainoana viime vuosina tapahtuneena muutoksena tähän on ollut pulttien koon pientyminen halkaisijaltaan 16 mm pultteihin aiemmasta 20 mm pulteista. Samalla kiinnityslevy on pientynyt leveydeltään 200 mm:iin. Tämä on mahdollistanut reunapalkin kaventamisen minimissään 400 mm:iin. Samoin tyypikkuvissa esiintyvää pulttien alapään taivutusta ei käytännössä ole tehty. Kaikkia internetissä olevia Liikenneviraston tyypikkuvia ei ole päivitetty, mutta suunnitelma-kuvissa käytetään uusia mittoja.

Liikennevirasto on tarkistanut ja päivittänyt kaideohjeistoaan äskettäin (Liikennevirasto 2012, Siltojen kaiteet), eikä suuria muutoksia kaiteen kiinnitystapaan ole näköpiirissä. Juurivaluun liittyviä muutoksia ei päivityksessä tehty. Myös kansainvälisesti kehityssuunta on ollut kohti suomalaistyyppistä pulttikiinnitystä.

5.1.2 Kaiteen pystytyksen työvaiheet

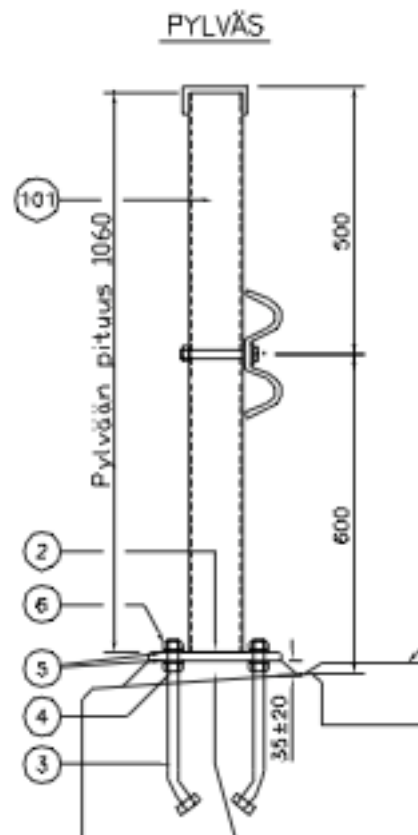
Reunapalkin päällä on sillankaide, jonka sidontapultit eli pulttiryhmä on valettu reunapalkin sisään. Normaalityötilanteessa (liite 2.) pultit valetaan valmiiksi palkkiin sitoen ne raudoitukseen. Kun reunapalkin betoni on kovettunut, kaidepylvään pohjalevy pulttataan pulttiryhmään kiinni noin 25 mm korkeuteen. Kiinnityslaipan alle jäävän tyhjän tilan ympäryks laudoitetaan ja täytetään valamalla se juotosbetonilla.

Periaatteessa tämän voi tehdä jo ennen muotin purkua, mutta käytännössä työskentely helpottuu, kun muotti on purettu. Usein muotista ylöspäin nousevia tukipukkeja täytyy purkaa pylväiden ja kaideasennuksen tieltä. Tukipukit tekevät myös kaiteen säädön hankalaksi niiden haitatessa näkyvyyttä pituussuuntaan.



Kuva 1. Tavanomainen pulttiryhmä asennettuna tyyppikuvan mukaiseen vanerisaluun.

- Kuvio 1. Ote Tiehallinnon tyypikuvasta H2-törmäysluokan kaidepylväälle. Pultit (3) sidotaan reunapalkin raudoitukseen ennen valua. Valun kuivuttua kaidepylvään (101) kiinnityslevy (2) pulttataan niihin kiinni ja väliin jäävä tyhjätila valetaan täyteen juotosbetonilla.



- Kuva 2. Juurivalun muotti Vääksyn kanavasillalla. Kuten kuvasta käy ilmi, on työergonomia juurivalutyössä huono. Maali- ja sinkkipinnoitus naarmuuntuu helposti kaidetta säätäessä ja juurivalun muottia rakentaessa.

Kaide säädetään pulttiryhmäpulttien muttereilla ylös - alassuunnassa asennuksen yhteydessä. Säästövaraa on noin 15 - 25 mm riippuen pulttien asennustarkkuudesta. Sivu- ja pituus suunnassa säästövaraa on teoriassa pultinreiän antama liikkumavara 9 mm (25 mm reikä, 16 mm pultti). Käytännössä pultit ovat aina joitain milliejä vinossa sekä kaiteen aseman että pulttiryhmän keskinäisten pulttien suhteen jolloin säästövara kutistuu yksittäisiin millieihin. Erityisen suuri riskitekijä on pituussuuntainen poikkeama, sillä yläjohdepalkkien liitoksessa on vain muutamia milliejä säästövaraa. Mikäli kaidepylväs joudutaan asentamaan liikuntavaran äärireunaan, jää siihen jännityksiä, jotka kuormittavat yhdessä lämpöliikkeen, sillan liikkeiden ja värinän ja muun satunnaisten kuormituksen kanssa, kiinnityspultteja ja juurivalua.

5.1.3 Pohjoismaissa tyypillinen sillankaiteen juurivalu

Pohjoiseurooppalaisena erikoisuutena on kaiteen juureen tehtävä korotusvalu, jolla kaidepylvään kiinnityslaippa kohotetaan irti reunapalkin yläpinnasta. Periaatteessa sekä Suomessa että Ruotsissa on tyyppikuvissa (Trafikverket 2003) vaihtoehtoina juottaminen tai juurivalu reunapalkin kallistuessa. Käytännössä Suomessa suunnitellaan lähtökohtaisesti aina juurivalu ja kallistus ajoradalle päin. Ruotsissa juotetut kaiteet ovat yleisempiä. Taajamiin rakennetuissa uusissa silloissa käytetään yhä useammin arkkitehdin suunnittelemaa kaiteita, joissa kiinnitystapaan vaikuttavat myös esteettiset seikat.

Tiesuolaa käyttävissä pohjoismaissa reunapalkin pinta on maantiesilloissa kallistettu kuivatuksen parantamiseksi ja pakkas-suolarasituksen pienentämiseksi. Esimerkiksi pohjois- - Amerikassa pulttivalut tehdään usein jälkivaluina (US Department of Transportation 2002). Kallistettujen reunapalkkien sijaan suositaan korkeita törmäyssuojatyyppejä betonirakenteita ajoradan ja kaiteen välissä (Ministry of Transportation, BC, Canada 2007). Usein kevyenliikenteen kulkutila on erotettu ajokaistasta ajojohteella tai betonikaiteella, jolloin kevyenliikenteen kaide voi olla rakenteeltaan kevyempi. Kansainvälisesti reunapalkin sivupintaan kiinnitettävä kaide on melko yleinen kiinnitystapa, mutta Suomessa sitä ei uusissa kaiteissa käytetä. Poikkeuksena ovat jotkin rautatiesillat, joissa ei ole tavanomaista reunapalkkia. Muualla maailmassa käytettyjen kaiteiden kiinnitystapojen voi olettaa täyttävän paikalliset viranomaisvaatimukset.

5.1.4 Juurivalun tarkoitus

Ilmeinen peruste juurivalun tekemiselle on pystysuoran pylvään sovittaminen reunapalkin vinoon yläpintaan. Aivan tarkkaa yleisesti hyväksyttyä selitystä juurivalun muille hyödyille ei ole. Yhtenä teoriana on, että kiinnityslaipan alus pystyy kuivumaan, mikäli esim. pultinrei'istä pääsee vettä laipan kiinnitysreikiin pulttien aluslevyjen alle. Vesisateella koholla oleva rakenne kuivaa reunapalkin pintaa nopeammin.

Teoriassa juurivalut mahdollistavat kaiteen pienen säätämisen, jos siltaan tulee esimerkiksi liikuntasauvan kohdalle suuria muodonmuutoksia. Kai-

depylväiden säätövara pultteja löysäämällä ja kiristämällä on kuitenkin vain teoreettinen, koska juurivalun yhteydessä laastin kaatoreikä täyttyy ja sitoo pylvään paikalleen. Tällaisessa säätötilanteessa pylväs tulee siis joka tapauksessa purkaa kokonaan irti. Pulttien asennustoleranssin johdosta pultit ovat lähes aina vinossa reikien keskikohdan suhteen, jonka vuoksi valmiin kaiteen säätötoleranssista on vain pieni osa käytössä. Käytännössä, jos halutaan säätää yksittäistä vanhan sillankaiteen pylvästä, on yksinkertaisempaa tehdä johteisiin soviteosa liikuntasauaman kohdalle kuin lähteä uusimaan juurivaluja. Irrallisena vanhan reunapalkin päälle tehty juurivalu sisältää myös monia laaturiskejä, jotka lisäävät pulttien riskiä joutua korroosiolle alttiiksi.

5.1.5 Juurivalun aiheuttama aikataulu- ja kustannusrasite

Työjärjestykseen tulee juurivalun vuoksi kolme työvaihetta. Raudoituksen yhteydessä tehdään pulttiryhmiä asennus ja mitoitus paikalleen sekä mitoituksen tarkistus. Toinen vaihe on betonin kuivuttua kaiteen asennuksen ja säädön jälkeen tehtävä muotitus ja valu, ja kolmas on muottien purku jälkihoitoajan jälkeen. Kaideasennuksen aikataulu on sidottu betonoinnin aikatauluun niin, että se on tehtävä reunapalkin valumuotin purkamisen jälkeen ennen vesieristysten tekoa. Jos kaiteen asennus siirretään vesieristysten jälkeen, on tehtävä väliaikainen putoamissuojauskaide vesieristystyön ja siihen liittyvän suojauksen toteutusajaksi. Teoriassa myös valumuotin purun ja kaideasennuksen väliseksi ajaksi olisi tehtävä putoamissuojaus, jota puretaan kaideasennuksen edistymisen myötä, mutta harvoin näin tehdään.

Juurivalun suora kustannusvaikutus rakennusosana on tavanomaisessa sillankorjausrakassa 0,5 - 1 %:n tasoa koko hankkeen kustannuksista. Työajan ja työjärjestyksen sitomisen aiheuttama kustannusvaikutus on vaikeammin määriteltävissä.

5.1.6 Kokeiltavana oleva rakennustapa

Tässä kokeilussa päätettiin asentaa kaide sidontapultteineen valmiiksi jo ennen valua kannatinpukkien varaan. Kaidepylvään pohjalevy haluttiin asentaa reunapalkin valupinnan tasoon ja juurivalu jättää kokonaan pois. Tällä haettiin ratkaisua moniin juurivalun aiheuttamiin ongelmiin ja riskeihin ja toisaalta etua tavanomaiseen toteutustapaan nähden.

Vaikutusta haettiin työtekniisiin ongelmiin ja riskeihin, kuten:

- Juurivalun toteutus on monimutkainen ja vaatii huolellista ammattityötä
- Kaidepylvään asennustoleranssit ovat vaarassa pienentyä koska pulttiryhmit asennetaan ensin erillisenä työvaiheena ilman korjauksen mahdollisuutta
- Juurivalun tartunta alapuoliseen reunapalkin pintaan on epävarmaa. Molempien rakenteiden betonointi on eri aikaan ja eri betonilaadulla tehty ja siksi eritahtinen kuivumiskutistuminen lisää irtoamisen riskiä

- Huolellisestikin tehty juurivalut saattavat murtua ja lohkeilla esimerkiksi sillankaiteen jännitysten ja lämpöliikkeen vuoksi vaatien takuukorjauksia ja ylläpitoa.

Juurivaluista on välillistä haittaa työ- ja liikenneturvallisuudelle:

- Juurivalujen muotitus- ja valutyö tehdään polvillaan kovalla betonikannella kaideosien välistä kurotellen eli työergonomia on huono
- Liikennehaitan poistamisen kiireen vuoksi juurivalutyöt tehdään usein ilta- ja yötyönä
- Juurivalun teko aika lisää liikennehaitan pituutta
- Juurivalun runsaat laaturiskit ovat samalla kaiteen liikenneturvallisuuden toteutumisen riskejä.

Juurivalu aiheuttaa kustannuksia ja sitoo resursseja:

- Juurivalujen kustannus on tavanomaisessa sillankorjausurakassa n. 0,5-1 % hankkeen kokonaiskustannuksista
- Juurivalut pidentävät liikennejärjestelyjä vaativien työvaiheiden läpimenoaikaa
- Juurivalujen teko on työvoimavaltainen työvaihe
- Juurivalu on tehtävä reunapalkin valumuotin purun jälkeen ennen liikenteen avaamista. Siksi juurivalujen teko ehdollistaa ja monimutkistaa kaideasennusten ja pintarakenteiden aikataulutusta.

Juurivalujen poisjättämisellä tavoiteltiin etuja kuten:

- Kokonaisen työvaiheen ja rakennusosan pois jäämisen myötä poistuvia rakennusosakohtaisia laaturiskejä, työturvallisuus- ja ergonomiaongelmia, kustannuksia, työjärjestely- ja tuotannonohjaustehdäviä ja takuuvastuita sekä vapautuvia resursseja ja työaikaa
- Vaihtoehtoja ja valinnanvaraa työjärjestyksiin
- Kaiteen liikenneturvallisuuden toteutumisen laaturiskin pienentymistä.

5.1.7 Esiasennuksen onnistumisen varmistaminen itsetiivistyvän betonin käytöllä

Reunapalkin betonoinnissa käytettiin itsetiivistyvää betonia. Tällä haluttiin varmistaa kiinnityslaipan alapuolisen tilan täyttyminen. Mahdollisten tyhjätilojen jääminen laipan alle saattaisi altistaa kaidepylvään kiinnityspulttien altistumisen tyhjätiloihin kertyvälle kosteudelle ja sitä kautta korroosiolle.

5.1.8 Kaidepylvään muutokset

Liikenneturvallisuuden varmistamiseksi pyrittiin välttämään muutoksia kaiteen mitoissa. Kaiteen kokonaiskorkeus on Tiehallinnon tyyppikuvan mukaan H2-törmäysluokan kaiteelle 1200 mm ajoradan pinnasta. Tämän säilyttämiseksi kaidepylvästä tehdään juurivalun korkeuden mitan eli 25 mm pidempi. Pituus lisätään alajohteen ja kiinnityslaipan väliseen osaan jolloin johteiden korkeusasemat pysyvät samana. Kiinnityspultit jätetään 30 mm koholle kiinnityslaipasta. Tämä tehdään siksi, että mahdollisesti kaidepylvään vaurioituessa se voitaisiin korvata vakiomittaisella tehden normaali juurivalu.

Reunapalkin pinta kallistetaan normaalisti viettämään ajoradalle päin 20 mm 400 mm:n matkalla. Tästä syystä kiinnityslaipan toinen reuna täytyy jättää hieman koholle betonin pinnasta. Kiinnityslaipan paksuus, 25 mm, antaa hyvin työvaraa tämän toteuttamiseen.



Kuva 3. Juurivaluton kaidepylväs. Pölyisyys johtuu vieressä juuri tehdystä vesieristyspinnan hiekkapuhalluksesta.

5.2 Poikkeavien muottimateriaalien käyttö

Kehityshankkeen toisena osa-alueena oli muottipinnan tavanomaisen raakahöylätyn ponttilaudan korvaaminen levymateriaaleilla.

5.2.1 Perinteinen ponttilauta muottimateriaalina

Ponttilauta on kaikessa betonirakentamisessa käytetty perusmateriaali. Laudan yleinen kauppakoko tällä hetkellä on 95 mm leveä ja 20 mm paksu lauta, jonka pituus on noin 4 metriä. Laudan toisessa reunassa on ura ja toisessa uraan sopiva pontti. Myös laudan päissä on ura tai pontti. Lautaa on höyläämätön ja karhean sahapintainen.

Tässä muodossa lautaa on käytetty betonimuotteihin Suomessa halki vuosikymmenien. Lautaa jätetään valupintaan tunnusomaisen lautakuvion, josta erottuu puun syöt ja oksankohdat. Ponttiliitoksen avulla lautojen saumat kohdistuvat ja suuremmilta tasoeroilta pinnoilla vältytään. Kuivana varastoitu lauta paisuu hieman valun esikostutuksessa tiivistäen ponttiliitokset. Lautaa voidaan naulata muotin runkoon, joka on tehty usein 50/100 mm koolingista tai paksummasta lautatavarasta.

Ponttilautaa voidaan latoa muottipintaan sopiva määrä kokonaisena ja sirkkelöidä reunaan sovitekaista. Poikittaisia tukipuita on oltava riittävän tiheästi, sillä lauta myötää helposti taivutuksessa, esimerkiksi muottipainneen vuoksi. Lauta imee jonkin verran kosteutta kuivuvan betonin pinnasta, joten kosteuden haihtumista muottipinnoilta on syytä estää. Usein esikostutettu lauta kuivuu ja kutistuu betonin kuivumisen aikana ja siksi irtotaa itsestään valupinnasta. Poikkeuksena reunapalkkivaluissa on palkin pohja, johon lauta yleensä tarttuu jättäen säleitä ja lastuja betonin pintaan.

Naulaliitoksilla tehty ja kuivuvaa betonia vasten ollut lautatavara on purkamisen jälkeen käytännössä arvotonta. Kokonaistaloudellisesti edullisin tapa purkaa lautamuotti on rikkomalla tehty purkutyö. Puutavara kerätään jätelavalle ram-työnä ja useimmiten hyödynnetään polttamalla.

Suunnittelun kannalta lautatavaraan liittyy haasteita. Runsaat moninaulaiset liitoskohdat voivat haljeta nauloista. Puun kuivuus tai pakkanen voi aiheuttaa hallitsematonta halkeilua. Puun kastuminen voi aiheuttaa jännityksiä lautapintoihin. Yksittäiset laudat voivat olla vaurioituneita tai heikompia oksankohdissa, ja pontit vaurioituvat helposti lautojen varastoinnissa ja siirtelyssä. Paineilmanaulaimella tehty urakkatahtinen naulaus ei aina toteudu virheettömästi. Näistä syistä teoreettisiin laskelmiin täytyy lisätä varmuutta.

5.2.2 Levytavara muottimateriaalina

Levytavara on yleistynyt teollisten muottijärjestelmien myötä. Yleisin muottijärjestelmien kanssa käytettävä levy on kolmikerrosviilusta tehty 20 mm paksu levy, jonka pinnassa on muovikalvo. Raskaammissa muottijärjestelmissä käytetään usein metallilevyä, joka on samalla kiinteä osa muotin runkoa.

Kolmikerroslevy on erittäin jäykkää ja kestää hyvin valupainetta. Kosteutta eristävän muovipinnoituksen ansiosta se ei juuri ime kosteutta kuivuvasta betonista, ja kestää hyvin varastointia. Levyt kestävät kokemusperäisesti noin 10 valukertaa. Reunapalkin tyyppisissä matalissa rakenteissa käyttökertoja rajoittaa levyn kestoja enemmän levyn paloittelu mittaan. Runsasnaulainen kiinnitys kuluttaa levyjä. Tämä on hyvä huomioida muotin rungon suunnittelussa niin, että vanhoja naulanreikiä voidaan hyödyntää. Ruuvikiinnitys on hieman työläämpi, mutta lisää levyn käyttökertoja, koska reikiä tarvitaan vähemmän ja purku voidaan tehdä pakottamatta.

Teollisena materiaalina kolmikerroslevy on suunnittelun kannalta selkeä vakiomittainen elementti, jonka ominaisuudet ja käyttäytyminen on hyvin ennustettavissa. Puurunkoon naulatessa levy jäykistää rakennetta, eikä jäykkyytensä ansiosta tarvitse niin paljon tukipukkeja. Tämä vähentää hieman runkokuutavaran tarvetta. Tässä kokeilussa muotin runko toteutettiin kuitenkin tavanomaisena.

5.3 Itsetiivistyvän betonin käyttö reunapalkin valussa

Tässä kokeilussa haettiin tuotantomallia jossa betonia ei tarvitse lainkaan tiivistää. Tästä syystä käytettiin itsetiivistyvää betonia. Siltabetonointeihin on Suomessa jonkin verran käytetty itsetiivistyvää betonia (Betoni-lehti 2006), mutta juuri sillankorjaukseen harvemmin. Itsetiivistyvän betonin käyttö oli tarpeellista myös toteutetun kaiteen muutostyön johdosta.

5.3.1 Suomalaisten siltabetonien laadunvarmistus

Reunapalkin Ro22-rasitusluokat täyttävän betonin täytyy täyttää huomattavan suuri määrä laatuvaatimuksia (liite 3. ja InfraRYL 42020). Näistä työmaalla tutkittavia ovat itsetiivistyvän betonin osalta olosuhdepuristuskoekappaleet, jotka säilytetään työmaaoiloissa, ilmamäärämittaus ja leviämä-painumakoe, jonka yhteydessä tehdään T50-koe eli mitataan leviämäkokeen betoninäytteen leviämisaika 500 mm leviämään. Betonointipöytäkirjaan kirjataan olosuhteet ja betonimassan lämpötila sekä muotin puhtaus. Erityisen tärkeää on myös betonointityön työtapatarkkailu ja muut yleiset havainnot, esimerkiksi massan silmämääräinen tarkastelu, valutaukojen pituus, muotin muodonmuutokset ja massan siirtotyön valvominen.

Suomalaiset siltabetonit ja niiden P-lukumenettely on hyvin kattavasti tutkittu ja analysoitu. Siksi tässä lopputyössä ei ole tarkoituksenmukaista perehtyä tähän tarkemmin, vaan todeta, että tässä kokeilussa käytetyt betonit täyttivät normaalit siltabetonin, sekä itsetiivistyvän betonin lisätyt InfraRYL 2006:n laadunvarmistusvaatimukset. Niiden lujuudenkehitys ja ilmamäärät todettiin normaalisti laatuksineen (liite 3.).

5.3.2 Itsetiivistyvän betonin leviämän vaikutus

InfraRyl 2006 ei anna itsetiivistyvälle betonille tarkkaa hyväksymisrajaa leviämästä. Itsetiivistyvän betonin toiminnallisena määrittävänä leviämänä pidetään useassa lähteessä leviämä-painuma-kokeen (eng. slump - flow) tulosta 550 mm - 800 mm (EPG, Eurooppalainen yleisohje itsetiivistyvistä betonista 2005). Näillä arvoilla katsotaan betonimassan täyttävän betonointaessa muotin tyhjätilat ja raudoitusten välit. Tätä pienemmän leviämän omaavan betonin katsotaan vaativan täryttämistä ylimääräisen ilman poistamiseksi massasta. On myös syytä huomata, että laadunvarmistuksessa keskeisen leviämä- ja T50-kokeen tekeminen vaatii selvästi yli 500 mm leviämää, joten erilaisia leviämätuloksia tuottavalla suhteutuksella tulisi myös koemenettelyä muuttaa.

Leviämä on tärkein ominaisuus betonin suhteutuksessa betonointityön kannalta. Massan jäykkyys eli pieni leviämä tarkoittaa epävarmuutta valutuloksesta ja detaljien epäonnistumisen riskiä. Liiallinen notkeus eli suuri leviämä nostaa huomattavasti kiviaineksen erottumisen riskiä ja tekee mahdollisista muottivuodoista vaikeasti hallittavia.

5.3.3 Itsetiivistyvällä betonilla saavutettavat edut tavanomaiseen betoniin verrattuna

Itsetiivistyvän betonin käytöllä oletettiin saavutettavan monenlaisia etuja. Tärkein oli esiasennetun kaidepylvään kiinnityslaipan alapuolisen tilan täyttyminen betonilla. Tyhjätilat kaidepylvään alla saattaisivat muodostaa liikenneturvallisuusriskin, mikäli niissä jäätyvä vesi pääsee kiilaamaan kiinnityspultteja poikki. Toisena seurattavana muuttujana ovat normaalin p-lukubetonin betonoinnin tyypilliset laatuongelmat, kuten pintahuokosten kertyminen ja valumuotin ahtaiden kohtien täyttyminen. Purkurajausten onnistuminen ja pinnan laatu olivat tarkkailtavana. Tiivistyö sisältää paljon laaturiskejä, jotka haluttiin minimoida. Kehityshankkeen tilaajalle oli hyödyllistä kerätä tietoa ja kokemuksia betonointityön onnistumisesta kokonaisuutena, sekä itsetiivistyvän betonin käytöstä.

5.3.4 Itsetiivistyvän betonin käytöstä syntyvät haasteet

Suurimpana haasteena ovat betonitoimittajalle asetetut ylimääräiset laatuvaatimukset (InfraRYL 42020, liite 4.). Pääkaupunkiseudulla on saatavissa suurilta valmisbetonin toimittajilta ennakotestattua itsetiivistyvää betonia, mutta jo Lahden korkeudella täytyy valmisbetoniaseman teettää kokeet erikseen, koska tilaukset ovat yksittäisiä. Kokeet vaativat noin kuukauden lisäaikaa ennen toimitusten aloittamista ja lisäävät jonkin verran kustannuksia.

Myös toteutusorganisaatiolle itsetiivistyvä betoni on usein harvinaisuutensa vuoksi erikoinen materiaali. Toteutusorganisaatiota täytyy perehdyttää itsetiivistyvän betonin erikoisominaisuuksiin kuten leviamän vaikutus työskentelyyn, massan laadun säilymisen reunaehdot, esimerkiksi kuljetusmatkat, muotin ja betonin muottiin siirron erityispiirteet ja muotin tiiveysvaatimukset.

Itsetiivistyvää betonia käytetään harvoin reunapalkin tyypisten matalien avonaisien rakenteiden toteutukseen. Tästä syystä myös betonointitapa on suunniteltava tapauskohtaisesti ja varmistuttava myös pumppauskalustoa käyttävän pumppuauton kuljettajan tietoisuus hyvistä työtavoista (Betoniyhdistys, luento ”Itsetiivistyvä betoni” Sini Ruokonen 2012).

Lähes nestemäisen notkeusasteensa vuoksi muottiin kohdistuva muottipaine on normaalia korkeampi, koska massa ei saa tukea oman jäykkyytensä tai raudoitukseen nojaavan kiviaineksen muodostamasta kitkasta. Niemen sillan reunapalkin korkuisissa, noin 45 cm korkeassa muotissa ei ole erityistä syytä varautua muottipaineeseen, mutta tukimuurien noin 70 - 75 cm korkeissa palkeissa ylimääräinen muottipaine on syytä huomioida.

5.3.5 Betonin tiivistämistyön epätasalaatuisuuden aiheuttamat laaturiskit

Huokostettujen siltabetonien suhteutuksessa on tyypillisesti matala vesisementtisuhde (Betoniyhdistys BY50 2012, esim. 108). Korkean pakkasuolarasituksen alaisilla pinnoilla vesisementtisuhteen maksimi arvo on 0,50 eli suhteutuksessa sideainekiloa kohden saa olla puoli litraa vettä.

Käytännössä notkistavilla lisäaineilla saavutetaan jopa alle 0,40 vesisementtisuhteita. Halkaisijaltaan millimetrin tuhannesosista millimetriin kokoiset huokosilmakuplat ja niiden kertymät käyttäytyvät betonimassassa liukastavana ja notkistavana laakerina kiviainesrakeiden välissä, joka osaltaan mahdollistaa vesimäärän pienentämisen suhteutuksessa. Huokosten ja pienen vesimäärän vuoksi huokostettu betoni ei käyttäydy tiivistäessä täysin ”nestemäisesti” eli vibran aiheuttama paineaalto ei etene betonissa niin hyvin kuin tavanomaisessa tiiviissä vesipitoisemmassa betonissa. Tämän vuoksi esimerkiksi laskettaessa vibraa palkin keskelle betoni tiivistyy huomattavasti enemmän palkin keskellä vibran vieressä kuin muottipinoilla. Paksuihin yläpinnan pitkittäisteräksiin osuessaan vibran tärytysteho siirtyy hallitsemattomasti terästä pitkin, aiheuttaen teräksiin kosketuksessa olevan karkean kiviaineksen painumista. Liika täryttäminen sotkee huokosjakoa ja aiheuttaa riskin kiviaineksen painumisesta. Nämä seikat ovat erittäin haitallisia reunapalkin kokonaislaadulle, koska juuri muotin lähellä oleva betoni muodostaa raudoituksen suojakerroksen ja yläpinta on alttiina plastiselle halkeilulle, jota vähentää karkea kiviaines.

5.3.6 Tiivistystyön haasteita ja inhimillinen muuttuja

Betonin tiivistystyöhön liittyy monia laaturiskejä, joiden hallinta edellyttää toteutusorganisaatiolta huolellisuutta ja kokemuseräistä osaamista. Seuraavassa on eriteltynä kokemuseräisiä huomioita tiivistystyön käytännön toteutuksesta.

Huokostetun p-lukubetonin käyttäytyminen tiivistystyön aikana voi olla vaikeasti ennustettavaa. Vesimäärän säätö on pienellä vesimäärällä hankalaa ja ennen pumppauksen aloitusta massa vaikuttaa usein liian jäykältä. Tyypillisesti helpotusta haetaan tilaamalla betoni korostetun suurella painumalla tai käyttämällä notkistinainetta, jota lisätään massaan kuljetusauton sekoittamana ennen valun aloitusta. Ne tuottavat muottiin kaadetun betonin rakenteeseen hyytelömäistä tasalaatuisuutta, joka vaikeuttaa tiivistetyn betonin pinnan tarkkailua ja sitä kautta lisää tiivistystyön epätasalaatuisuutta. Jäykkyys voi johtua myös sitoutumisen varhaisvaiheesta. Usein pumppauksen alettua massa notkistuu hieman sen sekoittuessa uudelleen pumpussa.

Periaatteessa tulisi tiivistystyö tehdä systemaattisesti arvioiden jokaisen tiivistyskohdan saavan suunnilleen saman määrä tärytyssekuntteja. Tiivistystyö tehdään kuitenkin todellisuudessa enemmän vaistonvaraisesti ja välillisten muuttujien ohjaamana, kuin systemaattisena kellotustyönä. Tiivistystyön aikana tiivistävä ram tarkkailee seikkoja, kuten betonin painumista ja leviämistä muotissa, purettaessa kasalle jääneen betonin pinnan tasaantumista ja muotin vajaiden kohtien täyttymistä sekä pinnan kuplimista ylimääräisen ilman noustessa kohti pintaa. Usein työskentelyä ohjaa massan pinnan muuttuminen vibraamisen myötä pastamaisesta kiiltävän nestemäiseksi painumisen loppuessa.

Raudoituksen välit muodostavat ”ruutuja”, joihin sopivin välein vibra pudotetaan. Pulttiryhmän ja muun tiheän raudoituksen kohdalla tämä rytmi häiriintyy. Tiivistystyön sekuntimäärä ja vaikutusalueen kattavuus perustuu

ramin vaihtelevaan subjektiiviseen arvioon yksittäisessä palkin kohdassa, vaikka betonityönjohtaja arvioisikin kokonaismäärän suunnilleen oikeaksi. Luonnollisesti myös työn rytmitys yleensä, työn raskaus, ram-työn yksilökohtaiset erot ja psykologiset seikat, kuten motivaatio, vaikuttavat lopputulokseen. Työnohjauksen onnistuminen ja kattavuus inhimillisine tekijöineen on merkittävä muuttuja.

Kaikki nämä muuttujat ovat hyvin suhteellisia ja tapahtuvat hieman eri tavalla erilaisilla toteutusmalleilla, työryhmillä ja erilaisilla betonin suhteutuksilla. Kohdekohtaiset muuttujat, kuten kuljetusmatkat, reunapalkin mitat ja olosuhteet, kuten säätila, vaikuttavat betonimassan käyttäytymiseen tiivistäessä. Lisäksi reunapalkkivaluissa on suhteellisen matala muottipaine ja purkupintainen liitospinta vanhaan rakenteeseen on epätasalaatuinen ja vaihtelevassa korkeusasemassa. Molemmat seikat lisäävät valuvirheiden riskiä.

Nämä inhimilliset muuttujat ovat huomioonotettavan suuri riski tiivistystyön ja muunkin valutyön onnistumisen kannalta. Siksi kertavaluna toteutettavat jopa satoja metrejä pitkät reunapalkkien betonoinnit vaativat poikkeuksellisen huolellista ja systemaattista tiivistämistä ja tiivistystyön varmistamista. On selvää, että kilpaillussa urakointiympäristössä on paljon haasteita tämänkaltaisen erityisen huolellisen ammattityösuorituksen tuottamiseen.

Näiden laaturiskien poistamiseksi haluttiin tässä kokeilussa käyttää itsetiivistyvää betonia.

5.3.7 Suurten pintahuokosten aiheuttama rasitus reunapalkille

Betonirakenteiden laatua arvioidessa keskeinen muuttuja on käyttöikään vaikuttavat seikat. Näistä yksi tärkeimmistä on reunapalkin tapauksessa raudoitusterästen suojapeitteen paksuus.

BY-50-julkaisun (Betoniyhdistys, BY-50 2012, 108) mukaan pakkas-suolarasitusluokan XF3 mukaisilla pinnoilla joita ovat reunapalkin ylä- ja sivupinta on betonipeitteen paksuudeksi määritelty 45 mm. Jos tällaisella pinnalla on huokonen läpimitaltaan yli 5 mm, on selvää, että pistemäisesti suojaetäisyys ei toteudu. Suuret huokokset voivat myös varastoida tiesuolaisia vesipisaroita, jotka jäävät huokoseen pintajännityksen avulla.

5.3.8 Suurten pintahuokosten välttäminen

Huokostetun betonin valupinnan arvostelussa voidaan suurten pintahuokosten vähäistä määrää pitää hyvänä indikaattorina betonoinnin onnistumisesta. Suuret huokokset valupinnalla voivat syntyä betonoinnin työvirheistä, kuten tiivistystyön epätasalaatuisuus, tiivistystyön liian pieni määrä tai teho tai betonin siirto muottiin, on tehty niin, että massa erottuu tai on vanhaa. Suhteutuksen epäonnistuminen voi aiheuttaa huokosia, jos huokostus on epäonnistunut, massa voi olla liian jäykkää tai vettä on korvattu liian suurella ilmamäärällä. Betonin kuljetuksessa ja siirrossa muottiin on

voinut tapahtua viivytyksiä, jolloin massa on alkanut sitoutua ennen tiivistymistyön valmistumista.

Suuri määrä suuria pintahuokosia indikoi rakenteen sisäistä huokoisuutta. Pienten huokostuksessa syntyneiden huokosten pitäisi olla tasaisesti jakaantuneita ja mielellään samankokoisia. Ne ovat niin pieniä, ettei niitä erota paljain silmin pintaa tarkastellessa. Kertyneet huokokset kertovat epätasaisesta tiivistystyöstä, tai itsetiivistyvän betonin tapauksessa massan pyörteilystä muotissa.

Huokosongelma koskee vain reunapalkin sivupintoja. Reunapalkin yläpinta hierretään, jolloin huokokset häviävät. Alapintaan ei kohdistu erityisen suurta pakkassuolarasitusta ja suuri muottipaine osaltaan vähentää huokosten määrää. Suuret huokokset omaavat nostetta ja siksi nousevat helposti irti pohjapinnan muotista.

5.4 Betonoinnin rajapintojen laatuongelmat

Sillankorjauksessa reunapalkin uusiminen tehdään useimmiten niin, että sillan kantta ja siipimuureja ei pureta. Tästä johtuen valujen rajapintaa on suhteellisen paljon. Betonin varsinainen tartunta pintaan varmistetaan tartuntapinnan karhentamisella ja puhdistamisella sekä suunnittelemalla tartuntateräksiset tartuntaa vahvistavaksi. Rakenteen sisällä olevassa tartuntapinnassa esiintyy harvoin laatuongelmia, eikä niitä voi edes huomata ilman rakenteen rikkomista. Näkyvä kohta laatuongelmille on liitoskohdan valumuottiin rajautuva ulkopinta. Siinä voi esiintyä koloja ja haurautta betonissa, joka osaltaan haittaa päälle tulevan vesieristyksen tartuntaa ja tiiviyttä. Myös terästen suojapeite on ohuempi kolojen kohdalla.

5.4.1 Tyypilliset reunapalkin betonoinnin rajapinnat

Sillankorjaustyössä betonoidun reunapalkin muuhun rakenteeseen liittävä rajapinta on aina joko epätasainen karhennettu purkupinta tai liitospinta toiseen jo sitoutuneeseen tai vielä sitoutumattomaan tuoreeseen valupintaan. Kaikki ovat työteknisesti huolellisuutta vaativia liitospintoja.



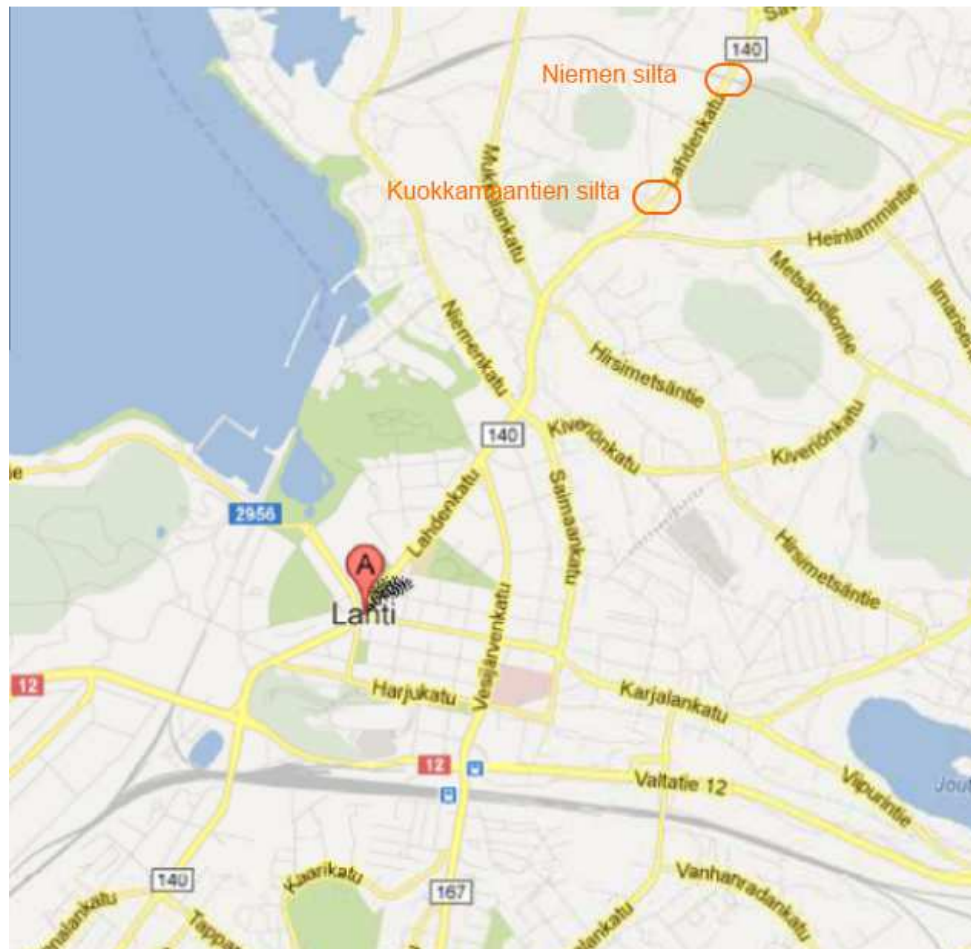
Kuva 4. Siipimuurin pintaa mekaanisen piikkauksen jälkeen. Tämä pinta karhennetaan vesipiikkaamalla. Puinen työteline on vaurioitunut purkutyön aikana.

6 KEHITYSHANKKEEN TOTEUTUS

6.1 Toteutusympäristön kuvaus

Tässä lopputyössä raportoidut kokeilut on tehty aidossa työmaaympäristössä. Kokeiluympäristönä toimi PEAB Infra Oyn urakoima sillankorjausurakka UUD5 ja sen osana oleva Niemen ratasilta Lahdessa. Urakan tilaajana oli Uudenmaan ELY -keskus ja sen Uudenmaan tiepiiri. Vertailukohteena toimi viereinen samaan urakkakokonaisuuteen kuuluva Kuokkamaantien ylikulkusilta, jossa samankaltaiset korjaustyöt toteutettiin tavanomaisilla työtavoilla ja materiaaleilla SILKO -ohjeen ja muiden Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti. Kolmas urakkakokonaisuuteen kuuluva sillankorjauskohde oli Vääksyn kanavasilta valtatie 24:llä, jonka korjauksiin tässä raportissa muutamissa kohdissa viitataan.

Kuvio 2. Sijaintikartta kokeiluhankkeen silloista.



6.1.1 Kokeilun aikataulu (toteutunut)

Sillankorjausurakka aloitettiin liikennejärjestelyillä 2.4.2012. Sillankorjausurakan kokonaisurakka-aika oli maaliskuun alusta marraskuun loppuun. Työt valmistuivat pääosin marraskuun alkupuolella. Niemen sillan itäisen puolen tukimuurien betonointi tehtiin 3.5. Itäinen reunapalkki betonointiin 11.5 molemmilla silloilla. Läntisen puolen tukimuurit ja molempien siltojen reunapalkit betonointiin 4.9. yhden päivän aikana.

Olosuhteet olivat valutöihin melko hyvät kaikkina päivinä. Oli melko viileää, pilvistä, ei sadetta. Jälkihoitoaikana suhteellinen ilmankosteus oli sateisuuden vuoksi jatkuvasti korkea. Jälkihoito tehtiin valupäivän iltana jälkihoitoaineella. Jälkihoitoainetta lisättiin seuraavina päivinä. Toisesta päivästä lähtien käytettiin runsaasti vettä ja tavanomaista enemmän työtunteja, huolellisuutta ja materiaaleja tasalaatuisten olosuhteiden varmistamiseksi. Jälkihoitoaika oli kaikkiaan noin 7-10 vrk, joka päättyi muotin purkamiseen. Olosuhteilla ja jälkihoidolla ei pitäisi olla vaikutusta tarkasteltujen pintojen valutuloksiin.

6.1.2 Kuvaus Niemen ratasillan betonointitöistä

Työt tehtiin niiden aiheuttaman liikennehaitan vuoksi kahdessa osassa. Nelikaistainen Lahdenkatu supistettiin kaksikaistaiseksi, jolloin hieman yli puolet liikennealueesta rajattiin työalueeksi. Itäinen puoli aloitettiin huhtikuun alussa 2012 purkutöillä ja valmistui elokuussa. Läntinen puoli tehtiin elo-marraskuussa 2012. Työvaiheet molemmilla puoliskoilla olivat samat. Tässä lopputyössä tarkastellaan niistä reunapalkkien ja tukimuurien betonointitöitä ja niihin pystytetyn kaiteen asennusta. Tarkasteltavat työvaiheet kestivät noin kolme viikkoa molemmilla puoliskoilla.



Kuva 5. L-tukimuurin pohjalaatan valu Niemen sillalla.

Niemen sillalla reunapalkin pituus oli 19,3 metriä siipimuurin päästä päähän ja tukimuurien 6 metriä. Yhteensä reunapalkkeja valettiin 38,6 metriä ja tukimuureja 24 metriä.

Reunapalkit olivat identtiset toistensa peilikuvina. Betonilaaduksi valittiin itsetiivistyvä betoni. Muuten betoni täytti suunnittelijan asettamat vaatimukset K45-1lk P50 Ro22. Suhteutuksessa perusreseptissä oli maksimina 8 mm raekoko. Toiminnallisten ominaisuuksien, kuten vuotojen hallinnan ja halkeilun vähentämisen, parantamiseksi lisättiin 8-16 mm pyöreärakeista kiviainesta, jonka jälkeen suhteutus vielä tarkistettiin ja tehtiin ennakkokeeket InfraRYLin mukaan (InfraRYL 42020, liite 4.).

Tukimuurit olivat tyypiltään ns. L-tukimuureja (Tiehallinto 2006, L-tukimuurin tyypikuva), joissa pystyosa toimi reunapalkin tavoin kaidepylvään tukena. Maan alle jäävä pohjalaatta oli 1,8 metriä leveä ja tielle päin viettäen 15 -20 cm korkea. Pohjalaatta valettiin rakennebetonista K45-1lk. P50 Ro22. Laatan päälle tuleva pystyosa oli 80 cm korkea ja valettiin itsetiivistyvällä betonilla. Reunapalkki ja tukimuurit erotettiin liikuntasaumalla.

L-tukimuurin pystyosan hieman normaalia korkeampaan muottipaineeseen varauduttiin käyttämällä muottilukkoja. Lukot koostuivat muotin läpi vedetyistä alumiinitangoista, joihin oli lyöty tavanomaiset kiilaavat muottilukot.



Kuva 6. L-tukimuurin muotti. Alumiiniset muottilukkotangot ovat vielä asentamatta.

6.1.3 Vertailukohteena oleva Kuokkamaantien silta

Vertailukohteena olevalla Kuokkamaantien sillalla reunapalkkien pituudet olivat 24,5 ja 25,2 metriä, yhteensä 49,7 metriä. Reunapalkit olivat yhtenäiset ilman liikuntasaumaa. Betonilaatu oli Liikenneviraston Ro22-rasitusluokan mukaisesti K45-1 P50. Kiviaineksen maksimirakoko oli 16 mm.

6.1.4 Havaintoja reunapalkkivalun tiivistystyöstä Kuokkamaantien sillalla tavanomaisella betonilla toteutetussa valussa

Vertailukohtana Niemen sillan betonointityölle olevalla Kuokkamaantien sillalla toteutettiin samankaltaiset reunapalkin betonoinnit. Valupäivät olivat samat. Reunapalkkien ja siipimuurien mitat ja raudoitus olivat samantyyppisiä. Niemen tukimuurit olivat Niemen osalla ylimääräisiä rakenteita, jotka kuitenkin valunopeudeltaan ja -tavaltaan toteutettiin reunapalkin kaltaisena. Toteutusorganisaatio, betonintoimittaja ja – pumppaaja olivat samat, joten vertailtavuus on hyvä.

6.1.5 Kehityshankkeen toteutuksen olosuhteet

Kokeilut tapahtuivat aidossa työmaaympäristössä. Tavoitteena oli säilyttää mahdollisimman aito urakatyömaan ympäristö tehtäville töille. Tulosten vertailtavuuden kannalta oli tärkeää, ettei tarkastelunalaisten töihin käytetty ylimääräisiä resursseja tai aikaa. Työ tehtiin sillankorjaustöille tyypillisessä kiireessä ja kustannuspaineessa. Työnohjaukseen käytettiin vastaava aika, kuin vertailukohtana olevalla toisella sillalla. Vain uusien ratkaisujen ja rakenteiden osalta tehtiin ylimääräistä työnohjausta, mutta sekin muun työnohjauksen lomassa.

6.2 Sillankaiteen poikkeava työjärjestys ja juurivalun pois jättäminen

Sillankaiteen esiasennus tehtiin reunapalkin muotin raudoituksen valmistamisen yhteydessä ennen betonointia. Tässä vaiheessa asennettiin kaidepylväät ja yläjohteet. Loput kaiteen osat eli säleiköt ja ajojohteet asennettiin myöhemmin ennen liikenteen avaamista.



Kuva 7. Kaidepylväät ja yläjohde esiasennettuna.

6.2.1 Kaiteen esiasennuksen tavoitteet

Kaiteen esiasennuksella tavoiteltiin hyötyä liikennehaitan aikataulun suhteen, työsaavutuksen suhteen, työturvallisuuden ja – ergonomian suhteen sekä laaturiskien vähenemistä koko kaiteen osalta. Näihin seikkoihin liittyviä muuttujia tarkkailtiin. Myös muut huomionarvoiset vaikutukset kokonaisuuteen kirjattiin.

Laipan alapuolen täyttymisen varmistamiseksi käytettiin itsetiivistyvää betonia. Betonoinnin ja hierron aikana laipan alapuolen täyttymistä tarkkailtiin. Myöhemmin reunapalkin kuivuttua tehtiin erityinen laadunvarmistuskoe (liite 6.), jolla varmistuttiin laippojen alapuolen täyttymisestä ja samalla simuloitiin tilanne, jossa kaidepylväs jouduttaisiin vaihtamaan esimerkiksi liikenneonnettomuuden jälkeen. Koe osoitti, että kiinnityslaipan alus täyttyi hyvin jokaisessa irrotetussa neljässä kaidepylväessä.

6.2.2 Kaiteen esiasennuksen toteutustapa

Kaiteen esiasennustyö tehtiin hyvin yksinkertaisesti. Reunapalkin muotti oli kokonaan valmis. Muottia sivusuunnassa tukevien pukkien päihin nauhattiin jatkolaudat, joiden väliin tuli välipuu hieman alle yläjohteen lopullista korkeusasemaa. Yläjohde esipultattiin välipuiden varaan ja kaidepylväät pultattiin roikkumaan yläjohteesta. Pulttiryhmän pultit oli valmiiksi pultattu reikiinsä ja laipat sekä ylijäävät pultin kierreosat suojattu betoniroiskeilta. Sivu- ja pituusasema säädettiin ja sidottiin tarkasti tukilaudoilla, jonka jälkeen yläjohde kiilattiin oikeaan korkoon käyttäen mittana muotin kolmiorimoja, joiden mukaan reunapalkin pinta tultaisiin hiertämään. To-

teutus osoittautui toimivaksi ja kaide pysyi hyvin paikallaan betonoinnin aikana.

Pylväiden välimitta tarkastettiin heti valutyön jälkeen ennen betonin kovettumista. Myöhemmin, ennen liikenteen avaamista asennettiin säleiköt, ajojohde ja alaputkijohde. Niiden asennus sujui ongelmitta.

6.2.3 Juurivalun aiheuttama aikataulusite Kuokkamaantien sillalla

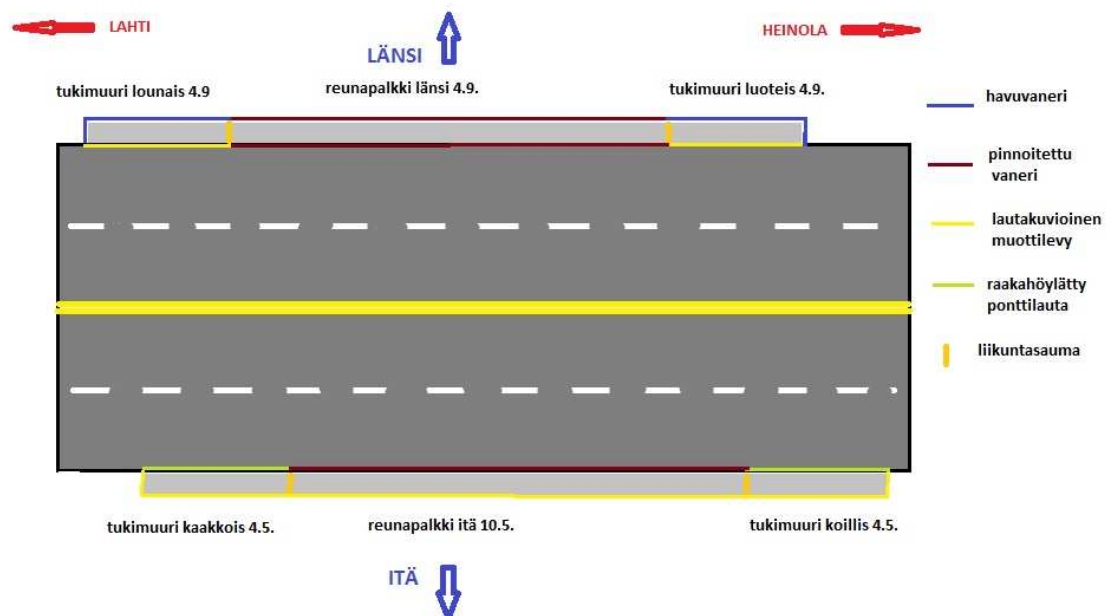
Kuokkamaantiellä kaiteiden 26 juurivalua aiheutti noin kahden päivän työmäärän työparille. Vääksyn sillalla kaiteiden 98 juurivalua teetti yhteensä noin yhdeksänkymmentä ram-tuntia työtä.

Välittömän aikataulusituksen lisäksi aiheutui välillisiä vaikutuksia, joita on vaikea täsmällisesti arvottaa. Subjektivisena arviona voidaan sanoa että tavanomaisen työjärjestyksen noudattaminen lisää kokonaistyyäikää noin vuorokauden verrattuna juurivaluttomaan vaihtoehtoon. Tämä aika syntyy siitä, että kaidetoita ei voi tehdä limittäin aikataulua määrittävien raudoitus-, betonointi- ja vesieristystöiden kanssa.

6.3 Muottimateriaalien vertailu

Muoteissa korvattiin raakahöylätty ponttilauta erilaisilla materiaaleilla seuraavalla tavalla:

Kuvio 3. Kartoituskuva Niemen sillalla eri muotinosissa käytetyistä muottimateriaaleista.



Kartoituskuvassa on rakenteiden nimet ja niiden valupäivät. Värillä korostetut reunat kertovat käytetyt muottimateriaalit pinnoittain.

Itäisen puolen valuissa käytettiin muotinirrotusainetta, läntinen puoli tehtiin ilman. Vettä imevät materiaalit oli esikostutettu.

6.3.1 Valutulosten analyysi muottimateriaalin suhteen

Valutulosten analyysissä mukailtiin BY-40:en mukaisia laatumuuttujia. Huokosten osalta poikettiin BY-40:stä niin että tutkittiin pinnan huokosmäärää kokonaisuutta tarkastellen. BY40-julkaisussa huokosia tarkkailaan pinnan huonoimpien kohtien mukaan. Silmin erottuvat, halkaisijaltaan 0,5 -2 mm kokoa olevat huokokset täyttyvät impregnoinnin yhteydessä. Ne kuitenkin indikoivat suurien huokosten tai huokoskertymän riskistä, jonka vuoksi niiden laskenta on hyödyllistä laadun kehittämisen kannalta.

Suuri määrä halkaisijaltaan silmin erottuvia ja kertyneitä huokosia on betonin lujuutta heikentävää ja altistaa betonia pakkas-suolarapautumiselle. Arvonlennusperusteena pidetään 10 kpl läpimitaltaan yli 10 mm huokosia neliömetrillä, tosin tulkinnat harvavalun ja huokoisuuden osalta vaihtelevat (Liikennevirasto 2010, BY-40 soveltaen). Raja-arvon ylittyessä tulkitaan betonoinnin tiivistyö epäonnistuneeksi ja betonin käyttöön ja lujuuden laskeneen. Pienempien 1-10 mm huokosten voidaan olettaa ennustavan näiden suurten huokosten riskiä.

Valutuloksia analysoitiin muottimateriaalien suhteen kahdesta näkökulmasta osamuuttujien tarkasteluna:

Esteettinen vaikutelma:

- Lautakuviovaikutelman onnistuminen
- Pinnassa näkyvät valuvirheet
- Pinnan väri- ja tummuusvaihtelut
- Esteettinen kokonaisvaikutelma.

Tekninen onnistuminen:

- Suurten huokosten määrä, yli 1 mm halkaisijaltaan olevat huokokset
- Pinnan soveltuminen impregnointiin
- Muotin detaljit kuten nurkat, naulojen jäljet, tippu -ura
- Betonointipinnan kokonaisarvostelu.

Koska muottien tukirakenteisiin ei tehty erityisiä muutoksia, ei tässä koekielussa ole tarkasteltu pinnan suoruutta ja aaltoilua, joka on riippuvainen muottijärjestelmän rungon ominaisuuksista.

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu sanallisesti ja kuvin eri muottimateriaalien tuottamaa valupintaa. Valutuloksista on tehty lisäksi kaksi koontitaulukkoa, joissa on tarkemmin eritelty mitatut muuttujat. Taulukko palvelee myös itsetiivistyvän betonin pintahuokosten muodostumisen analyysiä.

6.3.2 Raakahöylätty ponttilauta



Kuva 8. Raakahöylätyn ponttilaudan valupintaa.

Yksinkertaisin tapa tuottaa lautakuvio on tehdä lautamuotti. Tästä syystä Niemen ratasillan valuissa osalla pinnoista käytettiin perinteistä raakalautaa. Itsetiivistyvän betonin hyvin notkean olomuodon vuoksi oli olemassa riski muotin vuotamiselle. Tämän vuoksi itsetiivistyvän betonin muotissa ponttilauta naulattiin kiinni tavalliseen havuvanerilevyyn tiiviyn varmistamiseksi. Samalla sen olomuoto saatiin muutettua levymäiseksi, joten se ei luonut ristiriitaa levytavarasta tehdyn muotin työtehokkuuden analyysiin. Kertyneiden kokemusten valossa voidaan sanoa, että huolellisesti tehty lautamuotti kestää aivan hyvin matalan rakenteen muottipaineen sellaisenaankin.

Valutulosten osalta raakapintainen lauta näyttäisi sellaisenaan soveltuvan tietyin varauksin itsetiivistyvän betonin kanssa. Vaikka puupinta oli esikostutettu, voi puumateriaali silti imeä kosteutta betonimassan pinnasta varhaisen sitoutumisen aikana. Ilmeisesti siitä johtuen valupinta jää pölyiseksi. Siitä irtoaa hienoaainesta sormella pyyhkäisemällä. Suuret huokokset asettuvat epäsäännöllisesti ja ovat muodoltaan rikkonaisia. Impregnointia varten tehdyn hiekkapuhalluksen jälkeen pinta jää hiekkaisen karheaksi sementtiliiman alta. Noin millin syvyydeltä pinta on jo kova ja tiivis, mutta voisi olettaa pinnan olevan altis sitomaan pintakosteutta. Muiden laadunvarmistuskokeiden yhteydessä osalle pinnoista tehtiin kimmovasarakoe. Kimmovasarakokeessa ei havaittu oleellista eroa pintojen kovuudessa. Pölyinen pinta naarmuuntuu helposti.

Kulmarimoina käytettiin normaalia sirkelöityä kolmiorimaa, joka myös osaltaan jättää valupintaan puun jälkeä. Vaakapinnoissa nurkat onnistuivat kohtuullisen hyvin. Nurkkien pystyosilla on havaittavissa erityisen pölyi-

siä kohtia. Tämä voi johtua siitä, että nurkassa on suhteessa enemmän kosteutta imevää muottipintaa.

Sahaustekniikan kehittyessä raakahöylättyä myydään sileydeltään miltei höyläpintaista vastaavaa ponttilautaa. Tämä osaltaan tekee lautakuvion betonipinnoissa heikommin erottuvaksi. Koska sahapintainen puu imee jonkin verran kosteutta, olisi johdonmukaista käyttää sileäpintaista lautaerää, joka on suhteessa tiiviimpää, jos halutaan tuottaa lautakuvio itsetiivistävällä betonilla. Matalissa, kohtuullisen muottipaineen omaavien rakenteiden betonoinneissa, muotti kestää hyvin. Lautapinnat on syytä käsitellä huolellisesti muotiniirrotusaineella. Pelkkää vesikostutusta käytettäessä on syytä varmistua jälkihoidossa kosteuden säilymisestä pinnalla esimerkiksi muotin irrotesa pinnasta kuivumiskutistuman vuoksi.

Vertailukohteena olevalla Kuokkamaantien ylikulkusillalla käytettiin reunapalkkien valussa tavanomaista raakahöylättyä ponttilautaa. Rakennebetonin kanssa käytettynä se jättää melko karheen ja rakkulaisen jäljen. Rakkuloiden ongelmana on se, että niiden pohjalle kertyy helposti kalkkihärmää, joka poistuu huonosti hiekkapuhalluksen yhteydessä ja saattaa siksi heikentää impregnoinnin laatua.

6.3.3 Lautakuvioinen muottilevy



Kuva 9. Lautakuvioisen muottilevyn valupintaa. Kuvassa keskellä ja vasemmalla näkyvät nystermät ovat ruuvinkannan jälkiä.

Levy on kolmekerroksista puumassasta puristettua 20 mm paksua muottilevyä. Tässä kokeilussa käytettiin muottijärjestelmiä vuokraavan Periyhtiön levyä. Lautakuvioisessa muottilevyssä on puupinnan päällä muovikalvo, joten se on käytännössä vettä pitävä materiaali kuten filmivaneri. Levyn paksuuden ja kalvopinnan ansiosta se kestää melko hyvin käyttöä ja on siksi kierrätettävissä.

Lautakuvio on kalvon vuoksi melko sileä levyssä ja siksi myös valujäljessä vaikeammin havaittava. Suurimpana erona aitoon lautamuottipintaan on lautojen välisten syvyyserojen puuttuminen, jonka vuoksi pinnalla ei ole

juurikaan varjoja jotka lautapinnassa korostavat yksittäisten lautojen välistä korkeuseroja. Toisaalta levyjen rajapinnat erottuvat turhankin hyvin pilaten osan lautapinnan vaikutelmasta. Lautakuvio kuitenkin erottuu, erityisesti oksakohdat.

Joissain kohdissa levy tarttui pinnan sementtiliimaan jättäen puuainesta pintaan levyn kalvon mennessä rikki. Tämän jälkeen levyä ei voi kierrättää. Levyn kustannusvaikutus riippuu täysin kierrätyskertojen määrästä. Suurin kierrätyskertoja vähentävä tekijä on levyjen muotoon sahaaminen.

6.3.4 Pinnoitettu vaneri

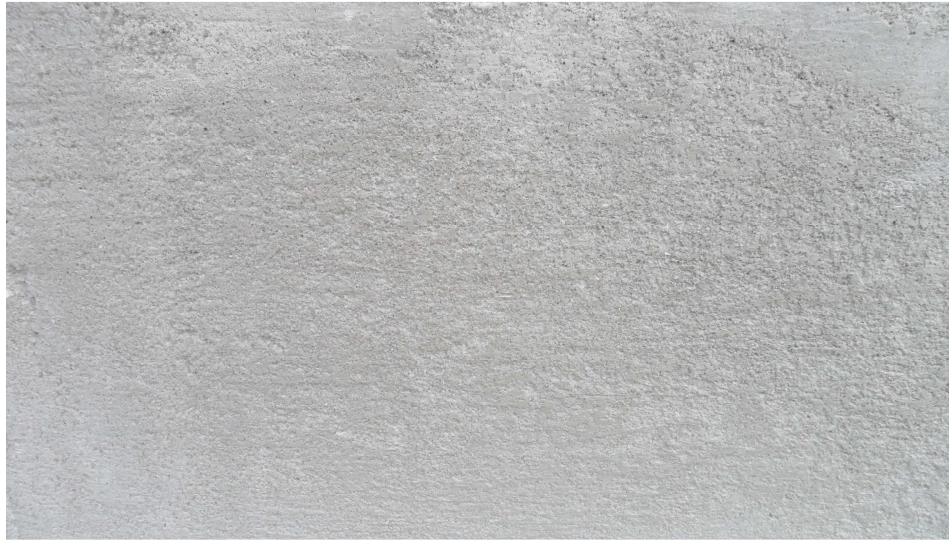


Kuva 10. Pinnoitetun vanerin valupintaa. Valkoisena näkyvät kiiltävät laikut ovat lasimaista sementtiliimapintaa.

Pinnoitettuna vanerina käytettiin kustannussyistä ns. kakkoslaadun melamiinikalvolla pinnoitettua vaneria. Tämä vanerilaatu kestää pinnoituksensa avulla jonkin verran kosteus- ja säärasitusta, vaikka ei ominaisuuksiltaan täysin vastaakaan säänkestävää fenolifilmipintaista vaneria. Alennettu laatumerkintä vanerissa johtui lähinnä pinnoitekalvon väri vaihtelusta.

Vedenpitävyyden ja sileyden vuoksi myös valupinnasta tulee hyvin sileä. Pintaan jää kalvo jopa lasisen kiiltävää sementtiliimaa, jonka alta paljastuu hiekkapuhalluksen jälkeen hieman hiekkainen, mutta ei kovin karkea pinta. Liika sileys voi johtaa ongelmiin impregnointiaineen levityksessä pysytymiselle. Välikkeiden tassut, betonoitaessa syntyvät massan pyörteet ja nurkkien detaljit erottuvat korostetun sileästä pinnasta hyvin selvästi.

6.3.5 Havuvaneri



Kuva 11. Havuvanerin valupintaa.

Läntisen tukimuurin muotin korkeammat sivut tehtiin 120x100 cm havu-
vanerilevyistä. Havuvaneri jättää selkeän hyvän syykuvion oksanjälkineen
valupintaan ja siitä tulee sopivan karhea impregnointipinnaksi. Se imee
hieman kosteutta pinnasta, joka näkyy tummuusvaihteluina ja karkeuden
hienoisena vaihteluna. Selvänä erona tavanomaiseen lautakuvioon on
saumojen puuttuminen. Lisäksi syiden kuvion voi epähuomiossa laittaa
pystysuuntaan. Sellaisenaan havuvaneri ei synnytä lautakuvion vaikutel-
maa.

6.3.6 Yhteenveto pintojen esteettisestä onnistumisesta eri muottimateriaaleilla

Taulukko 1. Yhteenvetotaulukkovalu pintojen esteettisestä onnistumisesta muottimateriaaleittain.

Muottimateriaali	Puukuvio-vaikutelman onnistuminen	Nystermät, purseet, pinnan tasalaatuisuus	Väri vaihtelut	Esteettinen kokonaisvaikutelma
Lautakuviainen muottilevy	Hyvä, hie- man liian sileä	Hyvä, levyjen saumakohdissa häiritseviä purseita	Erinomainen, tasainen väri	Hyvä
Havuvaneri	Erinomainen, selvät oksankohdat mutta vaakasaumat puuttuu	Lievää aaltoilua, saumakohdissa pieni purse, erittäin tasalaatuinen	Hyvä, Hienoista vaihtelua pinnan karkeuden mukaan	Erinomainen, mutta ei korvaa lautakuviota
Raakahöylätty ponttilauta	Erinomainen	Paljon nystermiä oksankoloissa, vaakasaumoissa selviä syvyseroja ja purseita, vaihtelee pölyiseksi matalan muottipaineen kohdissa	Normaali, tummuusvaihteluja ja vaaleita rakkuloita paikallisesti, oksankohdissa väriä puumateriaalista.	Hyvä
Pinnoitettu vaneri	Ei vaikutelmaa	Erittäin sileä, sementtiliimaisia laikkuja, lievää aaltoilua, välikkeiden jalat erottuvat	Sementtiliimaisia vaaleampia laikkuja, pientä tummuusvaihtelua, materiaalin väriä satunnaisesti	Hyvä, mutta ristiriita lautakuvioon

6.3.7 Muotinirrotusaineen ja muottikankaan käyttö

Itäisen puolen valuissa käytettiin muotinirrotusainetta osalla pinnoista. Muotinirrotusaineen vaikutuksen analysoinnista kuitenkin luovuttiin, koska sen käytöllä tai käyttämättömyydellä ei näyttänyt olevan yksiselitteistä vaikutusta valutulokseen. Joillakin sileillä kalvopintaisten materiaaleilla muotinirrotusaine vähensi paikoitellen tarttumista, mutta paikoin tarttumista esiintyi myös käsitellyillä pinnoilla. Puupinnoilla käytettynä ei huomattu muotinirrotusaineen vaikuttavan. Se ei myöskään helpota muotin purkamista, koska tyypillisesti matalissa palkkimaisissa valuissa betonin kutistumisen vuoksi muotit irtoavat betonista itsestään jo muutaman vuorokauden iässä.

Muottikangasta ei käytetty, koska se olisi tehnyt valupintojen analysoimisen muottimateriaalien vertailemiseksi mahdottomaksi. Muottikankaan funktio on tuottaa huokosettomia pintoja (Betoni yhdistys, BY-40, 23 -24). Siksi itsetiivistyvän betonin kanssa käytettynä sen toimivuus ja tarpeellisuus on kyseenalainen, koska lähtökohtaisesti itsetiivistyvässä betonissa ei pitäisi olla suuria pintahuokosia. Muottikangas on myös tämän kokeilun tarkastelussa rakennusosa, joka on tarpeeton mikäli betonin ja muottimateriaalin ominaisuudet riittävät tuottamaan huokosettoman pinnan. Muottikankaan jälkihoidollinen vaikutus kosteutta sitovana ei myöskään toimi vesitiiviillä pinnoilla. Puumateriaalipinnoilla, kuten ponttilauta ja havu-vaneri, muottikangas voisi vähentää pinnan hiekkaisuutta ja pölyisyyttä.

Reunapalkki rakenteena kutistuu suurimman osan kutistumastaan ensimmäisen sitoutumisvuorokauden aikana. Tästä syystä suurin osa muotista irta- toa itsestään betonista jo ensimmäisen vuorokauden aikana. Mutta mikäli muotin rakenteellinen jännitys valupintaa vasten vaihtelee, voi jossain kohdin muotin jännitys puristaa muottia betonia vasten ja aiheuttaa tarttu- mista. Pinnassa oleva sementtiliima liimaa materiaalin kiinni muottiin. Tämän kokeilun tuloksena voidaan sanoa, että sileämmät materiaalit tart- tuvat helpommin sementtiliimaiseen pintaan. Materiaali ja värijäämät pin- nassa eivät sinänsä haittaa, jos pinnat hiekkapuhalletaan. Muussa tapauk- sessa ne tuottavat lisätyötä puhdistuksen kautta. Suurempi haittatekijä on materiaalin kuluminen, joka vähentää sen kierrätyskertoja. Sileiden vesi- tiiviiden materiaalien kanssa on siksi syytä käyttää muotinirrotusainetta.

Reunapalkin pohjapintaan kohdistuu suurin muottipaine, ja siinä tapahtuu melkein aina muottimateriaalin tarttumista pintaan myös lautamuottiva- luissa. Toisaalta pohjapintaan ei tehdä impregnointia ja sitä ei näe lähietäi- syydeltä. Myös Niemen ja Kuokkamaantien sillan reunapalkeissa materi- aali tarttui palkin pohjakaistaan muotinirrotusaineen käytöstä huolimatta.



Kuva 12. Muotinainesjäämiä betoniin tarttuneesta muottilevystä.

6.3.8 Teknisten laatukriteerien vertailu muottimateriaalin ja leviämän mukaan

Seuraavassa taulukossa on koottu yhteenveto tarkastelluista laatumuuttujista erilaisilla muottimateriaaleilla.

Huokosten laskennassa keskityttiin huokosiin joiden läpimitta oli 1 -5 mm, ja huokosiin 5 -10 mm. Kuokkamaantien pinnoissa oli myös yksittäisiä yli 10 mm huokosia. Itsetiivistyvän betonin pinnoissa niitä ei ollut.

Betoniyhdistys ry:n ”BY-40 Betonirakenteiden pinnat”-julkaisussa annetaan luokitustaulukoita betonipintojen arvosteluun (liite 4.). Niitä ei kuitenkaan huokosten määrälaskennan osalta voi sellaisenaan soveltaa huokostettuun p-lukubetoniin, koska huokostetussa betonissa on lähtökohtaisesti luokituksen raja-arvot ylittävä määrä näkyviä huokosia. Tiehallinnon vanhoissa Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset -ohjeissa (Tiehallinto 2002, SYL3 17 3.2.2.5/kohta 1) on annettu huojennus BY40:n vaatimuksiin alle 5 mm huokosten osalta. Näitä ohjeita ollaan päivittämässä, eikä niitä suoraan sovelleta, mutta tulkinta huokosista tehdään toistaiseksi vanhan ohjeen mukaan. Muiden suoritus- ja aaltoilumittausten perusteella pinnat ovat tasoa A. On huomattava, että arvostelu on tehty ennen impregnoinnin pohjustuksena tehtyä hiekkapuhallusta, jonka yhteydessä suurin osa pinnan valupurseista ja väri vaihteluista häviää.

Huokosten laskentatapa poikkesi BY-40:ssä käytetystä tavasta (liite 4.). BY-40 mukaan tehtävä laskenta on tarkoitettu valuvirheiden etsimiseen ja siksi siinä tarkastellaan pinnan huonoimpia kohtia niin, että valitaan pinnasta huokoisimmalta vaikuttava 0,5 m x 0,5 m alue ja lasketaan siinä olevat suuret huokokset. BY40 ei huomioi alle 2 mm huokosia. Tässä kokeilussa haluttiin saada käsitys betonipinnan laatu tasosta kokonaisuutena. Myös pienten halkaisijaltaan 1-2 mm huokosten määrää pidettiin merkittävänä, koska ne indikoivat mahdollisten huokoskertymien syntymistä ja toisaalta ovat silmin erottuva indikaattori massan pyörteilystä muotissa ja huokosten jakaantumisesta tasaisesti massaan.

Huokosten laskenta toteutettiin seuraavasti: jokaisella muottimateriaalilla toteutetuista pinnoista valittiin ilman ennakkovalintaa kaksi yhden neliömetrin kokoista alaa niin, että alat olivat suunnilleen rakenteen samoissa kohdissa suhteessa muihin materiaaleihin. Neliön alueelta valittiin ennakkovalintaa välttämällä kymmenen 10x10 cm alaa pyrkien kattamaan ylä-, keski- ja alaosa palkista. 10x10 cm alue rajattiin sapluunalla, jonka sisältä laskettiin huokokset. Neliömetrin otoksen alueelta kerättiin kymmenen tulosta, joista keskiarvon perusteella laskettiin taulukkoon kirjattu arvo. Suurten, halkaisijaltaan yli 10 mm huokosten osalta tehtiin vielä erikseen silmämääräinen laskenta koko rakenteesta.

Sarakkeessa ”kokonaisarvostelu” tutkittu pinta arvosteltiin kokonaisuutena välillä erittäin huono (- - -) – erittäin hyvä (+ + +), arvon nolla tarkoittaessa vertailusillan tavanomaista valutulosta. Arvostelussa painotettiin huokosmäärää ja pintojen tiiviyyttä. Joillain materiaaleilla oli kaksi arvostelu- aluetta, jotka on kirjattu eriteltyinä sarakkeeseen. Sanallisessa arvostelussa impregnointi- ja detaljit -sarakkeissa on yleisarvosanana Heikko (ei välttämättä täytä vaatimuksia), Ok (täyttää vaatimukset) ja Hyvä (parempi kuin vaatimukset edellyttävät).

Taulukko 2. Arvostelutulokset Niemen sillan betonipinnoista.

Materiaali ja leviämä	Huokoset 1-5mm /m ²	Huokoset 5-10mm /m ² (>10mm)	Soveltuvuus Impregnointiin Heikko/ok/hyvä	Detaljit, pintojen tiiveys	Kokonaisarvostelu - = huono 0 = normaali + = hyvä
Lautakuvioinen muottilevy 550-600mm	1. 220kpl 2. 460kpl ka 340kpl	1. 3kpl 2. 9kpl ka 6kpl	Hyvä Hyvä	Ok, karhea, 1.alueella paljon 0-1huok.	+
Lautakuvioinen muottilevy 600-700mm	1. 350kpl 2. 220kpl ka 285kpl	1. 9kpl 2. 5kpl ka 7kpl	ok ok	Ok, tiivis hiekkainen pölyinen, paljon 0-1 huok.	++
Pinnoitettu vaneri 600-650mm	300kpl	6kpl	heikko	Terävät nurkat, sementtiliimainen kova pinta	++
Pinnoitettu vaneri 650-700mm	130kpl	0kpl	heikko	Valurajat ym näkyvät, lasisen kova sementtipinta, väri vaihtelua	++
Raakahöylätty ponttilauta 550-600mm	370kpl	8kpl	hyvä	Lohkeilua nurkissa, hiekkainen ja pölyinen, tummuusvaihtelua	+
Havuvaneri 600-650mm	1. 120kpl 2. 150kpl ka 135kpl	1. 3kpl 2. 3kpl ka 3kpl	Hyvä Hyvä	Ok, nurkissa haurautta, tasa-laatuinen, karhea pölyinen	+++

Vertailutulokset Kuokkamaantien sillan betonipinnoista (2 kohtaa/puoli):

Kuokkamaantien sillalla valettiin reunapalkit tavanomaisella tiivistettävällä K45-1 P50 Ro22 betonilla. Tiivistystyö tehtiin tavanomaisesti noudattaen betonointisuunnitelmaa. Tiivistysmäärää tarkkailtiin ja ohjattiin normaalia tarkemmin. Molemmilla silloilla ja valukerroilla reunapalkin valussa kalusto, henkilöstö ja betoniasema olivat samat molemmilla silloilla.

Taulukko 3. Arvostelutulokset Kuokkamaantien tavanomaisesti tuotetuista betonipinnoista.

Raaka-höylätty ponttilauta sVb3 itä	Itä/e 470kpl Itä/p 330kpl Ka 400kpl	Etelä 22kpl Pohj 10kpl Ka 16kpl(2)	Hyvä Hyvä	Normaalit, Hieman harva, rakkoinen	0 (vertailutaso)
Raaka-höylätty ponttilauta sVb3 länsi	Län/e 370kpl Län/p 290kpl Ka 330kpl	Etelä 12kpl Pohj 12kpl Ka 12kpl (1,5)	Hyvä Hyvä	Normaalit, sementtiliimaa, nystermiä	0 (vertailutaso)



Kuva 13. Valupintoja Kuokkamaantien sillalta.

6.4 Itsetiivistyvän betonin käyttö reunapalkin ja tukimuurien valuissa

Kokeilukohteissa reunapalkin betonin laatuvaatimuksena oli K45 1-luokan P50-betoni, joka täyttää siltabetonin rasitusluokat Tiehallinnon omalla luokituksella Ro22 R1 (vastaa BY-50 mukaisia XC4, XD3 ja XF4 luokkia) (Tiehallinto 2009, Anssi Laaksonen, A - Insinöörit) ja raudoituksen suojaetäisyys 45 mm. Nämä vaatimukset noudattavat Tiehallinnon sillankorjauksen suunnitteluun antamia betonirakenneohjeita (Liikennevirasto 2011, Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje), kun tavoitteena on 50 vuoden käyttöikä rakenteelle.

6.4.1 Itsetiivistyvän betonin leviämän säätäminen

Itäpuolen ensimmäisissä valuissa leviämäksi yritettiin säätää 550 -600 mm, koska pelättiin muotin vuotoja ja massan erottumista. Muotti kesti kuitenkin hyvin, ja länsipuolen viimeisissä valuissa massa tilattiin yli 700 mm leviämällä vertailutiedon saamiseksi. Leviämän hallinnan kannalta tärkeä havainto oli, että betoniasemalla mitattu leviämä pieneni hieman kuljetusmatkan aikana, keskimäärin 30 -50 mm. Kuljetusaika oli alle 20 minuuttia, ja testien välinen aika noin 30 -45 minuuttia. Leviämän pieneminen johtui todennäköisesti korkeasta sementtimäärästä, joka aiheutti massassa varhaista sitoutumista. Ongelma oli helposti hallittavissa tilaamalla betoni hieman suuremmalla leviämällä. Betonoinnin aloittamisen rajana pidettiin 550 mm tasoa. Yhden betonierän leviämä oli 530 mm. Sitä notkistettiin maltillisesti työmaalla käyttäen samaa notkistinainetta kuin suhteutuksessa. Leviämä nousi tasoon 580 mm. Yhteenvetona betonointityön kokemuksista sopivaksi leviämäksi havaittiin noin 650 mm taso työmaalla mitattuna. Liikennevirasto tulee jatkossa tulkitsemaan itsetiivistyvän silloissa käytettävän betonin hyväksyttävän leviämän alarajaksi 650 mm (Betoniyhdistys 2013, luento Juha Noeskoski).

6.5 Tyypillisiä reunapalkin betonoinnin laatuongelmia

Tyypillisiä reunapalkin betonoinnin laatuongelmia ovat suurten huokosten jääminen valupintaan, palkin plastinen halkeilu ja betonoinnin rajapintojen onnistuminen. Tässä kokeilussa haettiin ratkaisua näihin tyypillisiin laatuongelmiin käyttämällä itsetiivistyvää betonia. Lisäksi tarkasteltiin normaalien laatuvaatimusten täyttymistä, detaljien ja betonointityön onnistumista kokonaisuutena. Huokosten tarkastelu on tehty muottimateriaalien jättämän valupinnan arvostelun yhteydessä.

6.5.1 Reunapalkin kuivumiskutistuman aiheuttama muodonmuutoshalkeilu

Reunapalkin betonin kovuus katsotaan edulliseksi ominaisuudeksi paremman pakkas-suolarasituskestävyyden saavuttamiseksi (Betoniyhdistys BY-50, Rasitusluokat). Korkeamman pakkas-suolarasituksen suhteutuksilla on lujusvaatimus korkeampi. Vesi/sementtisuhteen ylärajaksi on asetettu 0,45 Ro22-luokan massoilla (Betoniyhdistys BY-50, 108). Tämän kääntöpuolena on korkea halkeiluriski. Halkeilua hillitään suhteuttamalla suurempi osuus karkeaa kiviainesta ja lisäaineilla, esimerkiksi kuiduilla

(Betoni yhdistys 2012, luento Risto Mannonen). Varhainen plastinen halkeilu johtuu siitä, että rakenteen pinnasta haihtuu kosteutta nopeammin kuin sisäosasta (Rudus Oy 2010, verkkojulkaisu). Siksi sisäosa kutistuu kuivuessaan hitaammin kuin pintaosa. Tämä aiheuttaa mikrohalkeamia pintaan, jotka kuivumisen edetessä leviävät kuivumiskutistuman myötä varsinaisiksi halkeamiksi. Huolellinen jälkihoito estää pinnan mikrohalkeilua ja hidastaa hydratoitumattoman kosteuden poistumista rakenteen sisäosista. Plastisten pintahalkeamien voidaan olettaa edistävän kuivumiskutistumisesta johtuvaa muodonmuutoshalkeilua. Jälkihoidon voidaan katsoa osaltaan välillisesti estävän myös myöhempää muodonmuutoshalkeilua.

Palkki on rakenteena pitkä suhteessa leikkauspinta-alaan. Se on sidottu koko matkalta kansirakenteeseen terästartunnoilla, jotka vähentävät palkin lyhentymistä kutistumisen aikana. Valettuun betoniin kohdistuu koko varhaiskovettumisajan ohiajavan liikenteen ja muun työskentelyn aiheuttamaa tärinää. Palkki on raudoitettu rakenteena jäykäksi (Liikennevirasto 2012, Portaali, Betonisiltojen suunnitteluohjeet) joka vähentää palkin myötäilykykyä kannen liikkeessä vaihtuvien kuormien mukaan. Kaikki nämä muuttujat lisäävät halkeiluriskiä.

Niemen sillan itäisen reunapalkkiin ilmestyi noin kuukauden iässä melko paljon kutistumahalkeamia, jotka jouduttiin imeyttämään epoksilla. Sillanrakennuksen Yleisten Laatuvaatimusten SYL3:n ja vallitsevan tulkinnan mukaan leveydeltään enintään 0,1 mm halkeamia saa olla "...1 metri jokaisella valupinnan neliömetrillä..." eli 0,4 m leveän reunapalkin yläpinnan tapauksessa yksi halkeama/1,1 metriä ja 0,45 sivupinnalla yksi/ 0,9 metrin matkalla. Mikäli halkeamia on tätä enemmän tai ne ovat leveämpiä kuin 0,1 mm tulee ne sulkea epoksoimalla. Halkeamia oli eniten keskikohdalla johon kohdistuu suurin kutistuman vetomomentti, keskimäärin 70 -80 cm välein. Keskikohdan molemmin puolin väli oli noin 90 -120 cm. Päissä liikuntasaumojen lähellä ei ollut kutistumahalkeilua. Tukimuurissa ei ollut silmin havaittavia halkeamia. Samaan aikaan valetussa Kuokkamaantien sillan itäisessä palkissa sama ilmiö toistui eli keskikohdalla oli liian tiheästi halkeamia. Jälkihoito oli molemmissa erittäin huolellinen.



Kuva 14. Halkeama Niemen sillan itäisessä reunapalkissa.

Läntisissä reunapalkeissa ei ollut liikaa halkeamia kummallakaan sillalla. Sama ilmiö toistui myös Vääksyn sillan reunapalkissa. Aikaisin keväällä valetussa eteläisessä palkissa oli jonkin verran halkeilua, pohjoispuolen elokuussa valetussa palkissa ei juuri lainkaan.

6.5.2 Rajapinnat Niemen sillalla

Niemen sillalla oli kahdenlaisia valujen liitospintoja. Kannen ja siipimuurien vaakapinta ja pystypinnat olivat mekaanista purkupintaa, joiden pinta oli karhennettu vesipiikkaamalla. L-tukimuurien itsetiivistyvällä betonilla valetun pystyosan pohjalaatta valettiin rakennebetonista muutama tunti aiemmin betonoidun juuri sitoutumisen aloittaneen betonipinnan päälle. Sitoutumisen alkua odotettiin, jotta pohjaosa kestäisi pystyosan itsetiivistyvän betonin aiheuttaman muottipaineen. Liitospintaa karhennettiin juuri ennen itsetiivistyvän pystyosan valutyön aloitusta.



Kuva 15. L-tukimuurin ulkopinnalle on jäänyt huokospyönteitä huonosti liittyneeseen rakennebetonin ja itsetiivistyvän rajapintaan. Suurimmat kuvassa näkyvät huokokset ovat halkaisijaltaan noin 5 mm.

Valumuotti oli kannen puolen pystypintojen ja kannen päälle tulevan vaa-kaosan kohdalla hyvin ahdas. Kapeimmillaan betonin täytettävä tila oli vain 30 - 40 mm paksu, jonka läpi betonin piti täyttää useita kymmeniä senttejä syvä tila tai siirtyä sivusuunnassa vesipiikattua pintaa pitkin vaa-katasossa raudoitettun tilan läpi. Joissain kohdin betonia vesipiikkaus oli viistänyt rajauspinnan kiilamaiseksi.

6.5.3 Rajapintojen onnistuminen Niemen sillalla ja vertailusillalla

Rajapintojen osalta itsetiivistyvä betoni oli hyödyllinen. Kaikki muotin tyhjätilat täyttyivät hyvin kapeimmissakin kohdissa. Rajapinnat olivat pääosin tiiviitä ja reiättömiä. Kaikkein kapeimpia nollaantuvia kiiloja betoni ei pystynyt täyttämään, jonka vuoksi muutamia pieniä koloja jouduttiin paikkaamaan jälkipaikkauksena.

Myös liitos tuoreeseen rakennebetoniin tukimuureissa onnistui hyvin. Rakennebetonin pintaa raavittiin rikkonaiseksi juuri ennen itsetiivistyvän betonin pumppausta muottiin. Kovettuneessa valupinnassa liitospinnan pystypinta oli tasainen. Pieni värierio näkyi joka kohdassa.

Kaiken kaikkiaan Niemen sillalla siipimuurien ja tukimuurien sivupinnat molemmiin puolin kiertäen pystyseinän rajapintaa oli noin 130 metriä. Tästä tukimuurien kohdalla oli 50 metriä. Tukimuurien osalla rajapinnasta onnistui virheettömästi noin 35 metriä. 10 metrin matkalla oli muutaman millin syvyinen sementtinen viiru. Noin kahden metrin matkalla oli 1-3 sentin korkuinen hieman pyönteilevä huokoinen kohta lyhyinä jaksoina. Kahden metrin matkalla oli pumppaustyövirheestä johtuva rakkulainen kohta. Yhden metrin matkalla oli muottilevyn alareunassa 1 cm syvyyssuuntainen tasoero pohjabetoniin. Siipimuurien ja reunapalkin ulkopinnan alapinnan kohdalla suhde oli samankaltainen: 80 metristä 65 metriä oli hyvää rajapintaa, 13 metrin kohdalla 1-3 metrin jaksoissa oli jonkinlaista

rakkulaa, viirua tai pursetta. Yhteensä noin kahden metrin matkalla oli jälkihiomista tai -paikkaamista vaativia koloja ja tasoeroja lyhyinä jaksoina.



Kuva 16. Valujen rajapintoja on tasoiteltu laastilla kermieristyspohjan tasaamiseksi. Reiät liittyvät vanhan siipimuurin halkeamien epoksi-injektointiin. Kuva Kuokkamaantien sillalta.

Kuokkamaantien vertailusillalla rajapintoja oli reunapalkin valussa n. 80 metriä. Rajapinnasta erottui koko matkalla joko korkeusero tai viiru. Rakkulaisia tai muuta korjaamista vaativaa rajapintaa oli n. kolme metriä. Rajapinta näkyi koko matkan, tosin ulkosivulla se peittyi myöhemmin sivupintojen ruiskubetonoinnissa.

Kokonaisuutena rajapintojen ja muotin ahtaiden kohtien täyttymisen kannalta itsetiivistyvä betoni oli erittäin hyödyllinen. Tiivistettävällä betonilla tehtäessä Niemen sillan reunapalkin siipimuurin ahtaiden betonointikohtien muottia olisi täytynyt avartaa joko lisäämällä piikkaussyvyyttä tai paksuntamalla rakennetta, joka olisi pahimmillaan johtanut jopa lisäraudoitukseen. Betonointityö olisi ollut haasteellinen kohtuutonta tärytysmäärää sekä massan ylimääräistä notkistamista vaativana.

6.5.4 Normaalien laatuvaatimusten täyttyminen

Työmaalla tehtävistä laatuksista ei ole erityistä raportoitavaa.



Kuva 17. Leviämäkokeen tekoa Niemen sillalla ennen valun aloitusta.

Kokonaisuutena voidaan sanoa sekä Niemen sillan että vertailusillan massojen täyttäneen vaatimukset normaalisti. Työkohteella laadunvarmistustyötä tarvittiin kokeiden osalta hieman enemmän, mutta betonointityön osalla työnohjaustyötä laadun varmistamiseksi vähemmän.

6.5.5 Betonointityön onnistuminen itsetiivistyvällä betonilla

Yksi kehityshankkeen keskeisistä muuttujista oli kustannustietoisuus. Siksi haluttiin saada betonointityö toteutettua normaalia pienemmällä työryhmällä. Tämän johdosta betonointityö tehtiin pääosin 2-3 rakennusmiehen ryhmällä. Muotin peittämisen tms. varalta oli tosin varattu 1-2 lisä-

miestä viereiselle sillalle. Vertailusillan hieman lyhyemmän reunapalkin valu tehtiin neljän rakennusmiehen ryhmällä.

Muottipaine oletettiin kohtuulliseksi rakenteen mataluuden johdosta, joten erityisiä vahvistuksia ei juuri tehty reunapalkin muottiin. Tukimuurien korkean osan lujuutta varmistettiin tiheämmillä vaakatuilla ja maatuilla. Nurkkien tiiviyteen kiinnitettiin erityistä huomiota. Varsinaisia muotin vuotoja ei tapahtunut yhtään ja nurkat pitivät. Itäisen reunapalkin kannen vesipiikatulla vaakapinnalla oli tehty solumuovista puristamalla tiivistys joka ei ensin pitänyt ja muutama sata litraa massaa valui kannelle. Lisäämällä solumuovia ja topparilauta saatiin väli tiiviiksi. Vuoto aiheutti vain pienen valutauon ja hieman ylimääräistä työtä. Läntisellä puolella osattiin asiaan varautua ja samainen kohta muotissa piti, vaikka massa oli notkeampaa.

Yläpintaan piti saada kallistusta 20 mm 40 senttimetrin matkalle. Tämä osoittautui haasteelliseksi. Ensimmäisten tukimuurivalujen kohdalla huomattiin, että tavanomainen hiertotapa sopii huonosti itsetiivistyvälle betonille. Vaikka betonin pinta nahkoittui, ei se pysynyt vinossa muodossa, vaan oikein vaakasuoraksi heti, kun hiertämisen lopetti. Ylänurkkaan kolmioriman viereen pyrki muodostumaan kuplamainen betonipinta, joka jättäisi kolmioriman viereen tyhjätilan. Vasta n. neljän tunnin kuluttua betoni oli niin paljon sitoutunut, että se pysyi muodossa. Ensimmäisten tukimuurien hiertopinta onnistui kohtuullisesti. Niissä jouduttiin kuitenkin tyytymään hieman pienempään kallistukseen, noin 15 -20 mm 40 senttimetrin matkalla. Myöhemmin tehdyn hiekkapuhalluksen aikana pinnan nahkakerros irtosi ja pinta ja jäi hieman liian muhkuraiseksi ja hiekkaiseksi, ollen kuitenkin tiivis.

Seuraavissa valuissa yritettiin kehittää ratkaisua ongelmaan. Hyväksi tavaksi osoittautui tehdä muotin sivut kolmiorimaa korkeammaksi ja täyttää muotti hieman rimoja korkeammalle. Kun massa oli sitoutunut kolme - neljä tuntia kokeiltiin kuoria ylimääräistä massaa pois kunnes sitoutumistaso oli sopiva massan pysymiseksi muodossa. Sen jälkeen kuorittiin liika massa pois ja tehtiin hierto. Tämä onnistui hyvin, tosin hiertotyö täytyi tehdä nopeasti, koska sitoutuminen oli jo käynnissä. Kokeiltiin myös eräänlaisten painolevyjen käyttöä pinnan muotoilemiseksi, mutta se osoittautui työlääksi.

Kiviaineksen erottumista tarkkailtiin koko betonoinnin ajan kaikilla betonierillä. Kiviaines näytti pysyvän hyvin jakautuneena massaan, eikä erottunut kapeissakaan muotin kohdissa, tai massan valuessa muotissa sivusuuntaan. Hierron yhteydessä otettiin pistokokeina näytteitä pintamassasta. Ne pestiin ja todettiin, että karkeaa kiviainesta oli jäänyt tasaisesti myös massan pintakerrokseen. Myöskään liiallista veden erottumista massasta ei havaittu, mikä kertoo suhteutuksen onnistuneen hyvin betonointityön kannalta. Vähäinen veden erottuminen on itsetiivistyvälle betonille tyypillinen ominaisuus.

Betonin siirto muottiin onnistui ongelmitta. Ensimmäiset tukimuurien valut tehtiin käyttäen kourupurkua. Tämä osoittautui hitaaksi ja jatkossa käy-

tettiin pumppauskalustoa. Pumppausauton kuljettaja ohjeistettiin käyttämään minimipainetta ja välttämään korkealta pudottamista, jottei massa roiskiinnu ja erotu osuessaan yläpinnan raudoitukseen. Puomistoon tehtiin mutka alaspäin, jotta massa tulisi mahdollisimman katkeamattomana nauhana purkuputkesta. Tavoitteena oli minimoida massan sivusuuntainen siirtymä, jonka vuoksi purkuputkea siirrettiin tiheästi. Tämä onnistui hyvin, koska korkeallakin leviämäärällä betoni valui muotissa hyvin rauhallisesti. Kaikki yksittäiset valulaatikot täytettiin kerralla yläpintaan asti, ainoastaan läntisen reunapalkin valussa kuljetusautoa vaihdettiin kesken valun edellisen kuorman loppuessa. Valupintaan jäi tästä lähietäisyydeltä silmin havaittava raja.

Itsetiivistyvän betonin hyvä purkutapa poikkeaa hieman tavanomaisesta joten pumppauskaluston käyttäjä täytyy perehdyttää hyvin haluttuun työtapaan, mikäli tällä ei ole aiempaa kokemusta itsetiivistävästä betonista vastaavissa rakenteissa. Vastavuoroisesti kokeneelta pumppaajalta voi saada arvokasta kokemuseräistä tietoa valutapahtuman toteuttamiseen. Osissa valuista ram-valutyöryhmällä ei ollut aiempaa kokemusta itsetiivistävästä betonista, mutta ryhmä omaksui silti hyvin nopeasti massan käyttämisen ominaispiirteet. Betonin purkuaika kehittyi viimeisissä valuisissa jopa erittäin nopeaksi.

7 KOKEILUN TULOSTEN YHTEENVETO

7.1 Kaiteen esiasennus ja juurivalun poisjättäminen

Tavoitteena oli välttää tyypilliset ongelmat ja haitat juurivalun ja siihen liittyvien työvaiheiden osalta. Vaikutusta haettiin työtekniisiin ongelmiin ja riskeihin kuten:

- Juurivalun toteutus on monimutkainen ja vaatii huolellista ammattityötä
- Kaidepylvään asennustoleranssit ovat vaarassa pienentyä, koska pulttiryhvät asennetaan ensin erillisenä työvaiheena ilman korjauksen mahdollisuutta
- Juurivalun tartunta alapuoliseen reunapalkin pintaan on epävarmaa. Molempien rakenteiden betonointi on eri aikaan ja eri betonilaadulla tehty ja siksi eritahtinen kuivumiskutistuminen lisää irtoamisen riskiä
- Huolellisestikin tehdyt juurivalut saattavat murtua ja lohkeilla esimerkiksi sillankaiteen jännitysten ja lämpöliikkeen vuoksi vaatien takuukorjauksia ja ylläpitoa.

Juurivaluista on välillistä haittaa työ- ja liikenneturvallisudelle:

- Juurivalujen muotitus- ja valutyö tehdään polvillaan kovalla betonikannella kaideosien välistä kurotellen, eli työergonomia on huono
- Liikennehaitan poistamisen kiireen vuoksi juurivalutyöt tehdään usein ilta- ja yötyönä
- Juurivalun tekoaika lisää liikennehaitan pituutta
- Juurivalun runsaat laaturiskit ovat samalla kaiteen liikenneturvallisuden toteutumisen riskejä.

Juurivalu aiheuttaa kustannuksia ja sitoo resursseja:

- Juurivalujen kustannus on tavanomaisessa sillankorjausurakassa n. 0,5-1 % hankkeen kokonaiskustannuksista
- Juurivalut pidentävät liikennejärjestelyjä vaativien työvaiheiden läpimenoaikaa
- Juurivalujen teko on työvoimavaltainen työvaihe
- Juurivalu on tehtävä reunapalkin valumuotin purun jälkeen ennen liikenteen avaamista. Siksi juurivalujen teko ehdollistaa ja monimutkistaa kaideasennusten ja pintarakenteiden aikataulutusta.

Juurivalujen poisjättämisellä tavoiteltiin etuja kuten:

- Kokonaisen työvaiheen ja rakennusosan pois jäämisen myötä poistuvia rakennusosakohtaisia laaturiskejä, työturvallisuus- ja ergonomiaongelmia, kustannuksia, työjärjestely- ja tuotannonohjaustehtäviä ja takuuvastuita, sekä vapautuvia resursseja ja työaikaa
- Vaihtoehtoja ja valinnanvaraa työjärjestyksiin
- Kaiteen liikenneturvallisuuden toteutumisen laaturiskin pienentymistä.

Edellä mainitut haitat vältettiin, joka on merkittävä etu. Näistä merkittävimpiä olivat laaturiskien välttäminen, työergonomian paraneminen ja putoamisvaarallisen työn väheneminen, sekä kokonaistyömäärän pieni väheneminen.

Vaikutus aikatauluun oli Niemen sillan tapauksessa suhteellinen, koska liikenteen avaaminen ei tapahtunut heti kaiteen valmistuttua. Usein näin kuitenkin on, ja niissä tapauksissa saavutetaan noin 1,5-2 ram-tunnin resurssisäästö kaidepylvästä kohden liikenteen avaamista edeltävissä töissä tällä työjärjestyksellä. On syytä huomata, että kaiteen esiripustus valumuottiin toisaalta lisää kokonaistyömäärää keskimäärin 1 h kaidepylvästä kohden, mutta sen voi tehdä useimmissa työjärjestyksissä ennen liikenteenrajoitusajan alkua, jos reunapalkin uusiminen tehdään omana kokonaisuutena kaistanleveyttä kaventamatta. Lisäksi ennen pintarakennetyövaihetta on resursseja vapaana helpommin kuin sen jälkeen, koska pintarakennetyön tekevät erikoisurakoitsijat, joiden työ ei liity kaidetyöhön. Kaiteen esiasennuksella syntyy jonkin verran säästöä myös kokonaisresursseihin. Etu muodostuu siitä, että reunapalkin muotin purkamisen ja liikenteen avaamisen välillä tehtävä työvaihe jää pois. Samoin väliaikaista kaidetta ei tarvitse tehdä, joka myös osaltaan vähentää putoamisvaarallisen työn (väliaikaisen kaiteen teko) määrää ja ram-työn kokonaismäärää. Suurin yksittäinen hyöty urakoitsijalle syntyy kokonaistyöajan lyhentymisestä, jolloin työmaan yleiskustannukset pienenevät.

Kaiteen asennustyö on Tiehallinnon hyväksymän erikoisurakoitsijan työtä. Suhteellisenä etuna voidaan kirjata, että tämän työn sovittaminen liikenteen avaamista edeltävään kiireiseen kohtaan jää pois. Ennen reunapalkin betonointia on runsaasti aikaa tehdä tämä työ, eikä se silloin tehtynä häiritse esimerkiksi kannen vedeneristystöitä.

Esiasennettua kaidetta voidaan hyödyntää sääsuojan rakenteessa ja kiinnityksessä.

Tässä kokeiluhankkeessa ei vielä saavutettu kustannushyötyä kaiteen esi-asennuksesta, mutta toistettuna rutiininomaisena työvaiheena voidaan olettaa maltillisen kustannussäästön syntymistä kokonaiskustannuksissa.

Laadunvarmistuksessa merkittävä etu on se, että kaiteen asennustyö voidaan tarkistaa ja korjata ennen valua. Pulttiryhmiä tarkastuksessa tehtävä arvokas mittaustyövaihe jää pois, kun kaiteen yläjohdetta voidaan käyttää mittana.

Haittoina kirjattiin lisääntyneenä työnä kaiteen juurien suojaustyö. Tosin tavanomaisessa toteutuksessa pulttiryhmän pulttien kierreosat täytyy myös suojata. Esiasennettu kaide haittaa jonkin verran reunapalkin betonointityötä. Tilanteessa, jossa reunapalkissa tapahtuu muodonmuutoksia betonoinnin aikana, voi kaiteeseen jäädä kierteilyä. Impregnointia edeltävä hiekkapuhallus voi rikkoa juurilaipan kuumasinkitystä.

7.2 Muottimateriaalien vertailu

Muottimateriaalien osalta tavoiteltiin laadullista parantumista tarkasteltavissa muuttujissa:

Esteettinen vaikutelma

- Lautakuviovaikutelman onnistuminen
- Pinnassa näkyvät valuvirheet
- Pinnan väri- ja tummuusvaihtelut
- Esteettinen kokonaisvaikutelma.

Tekninen onnistuminen

- Suurten huokosten määrä, yli 1mm halkaisijaltaan olevat huokokset
- Pinnan soveltuminen impregnointiin
- Muotin detaljit kuten nurkat, kolmiorimat, tippu-ura
- Betonointipinnan kokonaisarvostelu.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että kaikissa tarkastelluissa muuttujissa saatiin jonkin verran tavanomaista parempi tulos, poislukien soveltuvuus impregnointiin, jossa saavutettiin tavanomainen tai joillain sileäpintailla materiaaleilla tavanomaista huonompi tulos. Muottimateriaalin muutos ei kuitenkaan tee työn huolellisuutta ja tarkkuutta tarpeettomaksi, mutta toisaalta mahdollistaa paremman tuloksen näkymisen, jos muut vaikuttavat muuttujat onnistuvat hyvin.

Levytavarasta tehty muotti on jonkin verran kalliimpi materiaalikustannuksiltaan, mutta levyjen kierrätettävyys pitkällä tähtäimellä laskee kustannuksia. Erityisen edullista olisi, jos levy yhdistettäisiin kokonaiseen muottijärjestelmään. Työsaavutuksen kannalta levy on jonkin verran nopeampi. Lautamuotin kosteuden vuoksi tapahtuvilta muodonmuutoksilta vältytään. Suhteellisena etuna saavutetaan jonkin verran etua jätteenkeruun ja jätekuljetuskustannusten määrässä.

7.2.1 Lautakuvion onnistuminen

Perinteistä lautakuviota vastaavaa kuviota saatiin vain lautamuotilla. Lautakuvioisella muottilevyllä saatiin vastaava pinta ilman syvyysvaihteluja. Havuvanerilla saatiin hyvä pinta, mutta siihen täytyisi lisätä pitkittäissuuntaisia jälkiä simuloimaan lautojen liitoskohtia. Lautakuvion onnistumisen kannalta on hyödyllistä suhteuttaa massa notkeaksi.

7.2.2 Muottimateriaalien vaikutus muihin laatumuuttujiin

Pintojen suoruus ja sileys korostuu, jonka vuoksi myös valuvirheet erottuvat selvemmin. Pinnan rakkomaiset harvat kohdat ja lautamuotille tyypilliset oksankohtien nystermät jäävät pois. Pinnan väri on tasaisempi, härmäisiä kohtia ei juuri ole. Vesitiiveys tekee pinnoista kovempia.

7.3 Itsetiivistyvän betonin käyttö

Kehityshankkeen tavoitteeksi kirjattiin itsetiivistyvän betonin käytössä suurten huokosten välttäminen, liiallisen halkeilun välttäminen ja valun rajapintojen onnistuminen.

Kokonaistyömäärä betonointityössä vähentyi jonkin verran ram-tuntien osalta, mutta lisääntyi betonityönjohdon osalla. Yläpinnan hiertotyö vei lopulta suunnilleen saman ram-työajan kuin vertailusillalla, ongelmaksi muodostui pitkä odotusväli ennen hierron aloittamista.

7.3.1 Vaikutus suurten pintahuokosten määrään reunapalkin sivupinnoilla

Huokosongelma poistui miltei kokonaan itsetiivistyvän betonin myötä. Matalilla leviämillä ja muotin sisään jäävillä rajapinnoilla on mahdollista jonkinlainen huokosten esiintyminen. Nämä voidaan välttää pitämällä leviämä yli 600 mm tasossa ja välttämällä valutaukoja.

7.3.2 Vaikutus kuivumiskutistumahalkeiluun

P50-luvun omaaville siltabetoneille on tehtävä ennakkokokeet, joissa yhtenä osuutena on koepalkki, jonka halkeilua tarkastellaan. Itsetiivistyvälle betonille koebetonierä on tehtävä samalla betoniasemalla kuin tuotettava betoni tehdään (InfraRYL 2006, 42020, liite 4.). Niemen sillalla käytetty itsetiivistyvä betoni täytti ennakkokokeiden vaatimukset. Silmin havaittavaa varhaishalkeilua ei esiintynyt.

Myöhempää kutistumishalkeilua esiintyi jonkin verran. Koska samoissa oloissa samalla jälkihoidolla tuotetut palkit halkeilivat saman verran kaikilla kolmella sillalla, voidaan katsoa, että hyvin suhteutettu ja ennakkokokeet läpäissyt itsetiivistyvä betoni ei eroa tämän ominaisuuden osalta tavanomaisesta samat ominaisuudet täyttävästä betonista.

7.3.3 Valun rajapintojen onnistuminen

Rajapinnat onnistuivat selvästi paremmin itsetiivistyvällä betonilla. Myös muotin ahtaat kohdat täyttyivät hyvin. Runsaasti kolmiulotteisia ahtaita muottitiloja sisältävissä rakenteissa itsetiivistyvä betoni on erittäin hyödyllinen.

7.4 Betonointityön onnistuminen kokonaisuutena

Itsetiivistyvä betoni helpottaa betonointityötä kokonaisuutena. Olisi suotavaa, että valutyöryhmällä ja erityisesti betonityönjohtajalla on aiempaa kokemusta itsetiivistyvän betonin käytöstä sille tyypillisten työvirheiden välttämiseksi. Tässä kokeilussa tehtiin erittäin huolellinen ennakkotyö ennen töiden aloittamista, jonka ansiosta monilta virheilta vältyttiin.

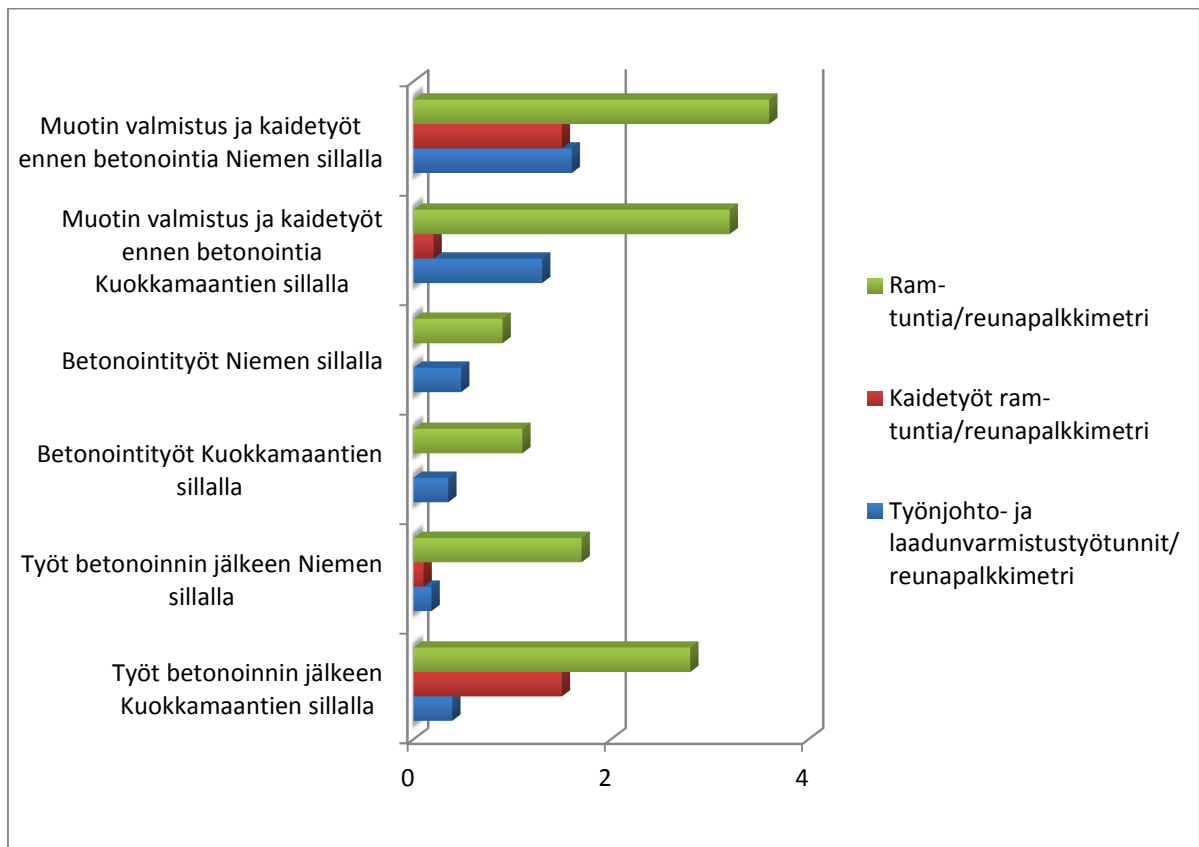
7.4.1 Kokeilun kokonaisvaikutukset työsaavutuksiin

Taloudellinen vertailu SILKOn mukaisesti toteutetun ja kokeilusillan välillä on hyvin subjektiivinen ja epätarkka sekä hankekohtaisista muuttujista riippuvainen. Suurin saavutettu hyöty kokeillulla työjärjestyksellä syntyy kokonaistyöajan ja erityisesti välitavoitteellisen liikenneajan säästöstä. Toinen merkittävä suhteellinen etu on laaturiskien pieneminen. Kokonaisurakka-ajan säästön ja laaturiskien rahallinen arvottaminen ei ole esimerkkitapauksessa mielekästä, koska suhteellinen eurosumma on täysin riippuvainen urakan sopimuksesta, tilaajan asettamista tavoitteista ja sanktioista ja monista muista suhteellisista muuttujista. Tästä syystä niiden arviointi on tehty sanallisena, osittain arvioihin perustuen ja suuntaa-antavana, ilman tarkkoja rahasummia.

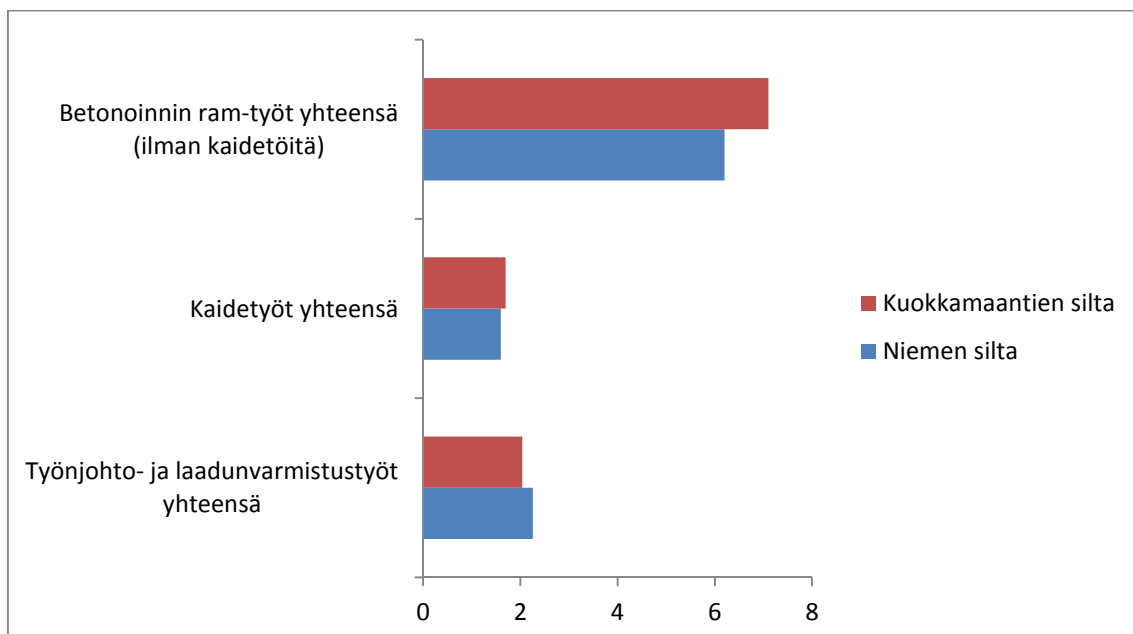
Seuraavassa kuvaajassa on graafisesti esitettyä eri erilaisten työjärjestysten vaikutus ram-tunteihin ja työnjohtotunteihin. Eri puoliskojen tunnit on laskettu yhteen. Kirjatut tunnit ovat kaikki kokeilun aiheeseen liittyvät tuotantotyötunnit reunapalkin osalta. Niemen L-tukimuureihin käytettyjä tunteja ei ole huomioitu. Yksikkönä on työtuntia reunapalkkimetriä kohden. Tuntimäärät on laskettu työn valvonnan aikana pidetystä työaikakirjanpidosta, joka on kerätty pelkästään tämän tutkimuksen käyttöön. Luvut eivät sellaisenaan sovellu urakkalaskentakäyttöön, sillä ne eivät sisällä esimerkiksi raudoitustöitä tai työmaan ylläpitotöitä.

Sillankorjauksen reunapalkin betonointitöiden kehittäminen

Kuvio 4. Graafinen esitys resurssien jakaantumisesta eri työvaiheille kaiteen esiasennuksella verraten tavanomaiseen työjärjestykseen.



Kuvio 5. Työtunnit/reunapalkkimetri yhteensä silloittain:



8 JATKOKEHITYSIDEOITA

Viimeiseen kappaleeseen on kirjattu kehityshankkeen aikana esiin tulleita ajatuksia.

8.1 Muottimateriaalit

Muottimateriaalien kehitystyötä on syytä jatkaa. Vielä nykyäänkin monet betonisista uudissilloista rakennetaan lautamuoteilla, joten lautakuvioita joudutaan tuottamaan sillankorjauksessa vielä vuosikymmenien päästä. Ongelmallista kehitystyössä on se, että muottimateriaaleja valmistavat yhtiöt ovat suuria ylikansallisia toimijoita, joille suomalainen sillankorjaus on melko pieni markkina-alue.

8.2 Kaiteen esiasennus ja juurivalun poisjättäminen

Juurivalun poisjättäminen on monella tapaa helpottava ja laaturiskejä pienentävä muutos. On syytä tarkkailla ja tutkia tarkemmin, voisiko jatkossa tyyppikuvia ja suunnittelukäytäntöjä päivittää suuntaan, jossa juurivalu ei ole välttämätön. Vaihtelu kaidetyypeissä lisäisi kilpailua myös kaiteiden tuotannossa.

Kaiteen esiasennus hyödyttäisi ja nopeuttaisi prosessia liikennehaitan suhteen useimmilla käytetyillä sillankorjauksen työjärjestyksillä.

Myös kaiteita voitaisiin kehittää suuntaan, jossa työjärjestystä voitaisiin muuttaa ja laatuongelmia välttää.

On syytä huomata, että kaiteen esiasennus onnistuu hyvin myös tilanteessa, jossa tehdään tavanomainen juurivalu reunapalkin muotin purun jälkeen. Kokeillun kaltainen juurivaluton reunapalkin betonointi onnistuisi hyvin myös tavanomaisella tiivistettävällä betonilla, toki vaatien tarkempaa laadunvarmistustyötä.

Liikennevirasto on myös harkitsemassa ruostumattomien raudoitusterästen ja samalla ruostumattomien teräskaiteiden käyttöönottoa. Tämänkaltaisen muutos alkaa jo nyt olla kustannusvaikutuksiltaan mielekäs kuumasinkityksen ja muun ruosteeneston hinnan kallistuessa.

8.3 Itsetiivistyvän betonin käyttö sillankorjauksessa

Itsetiivistyvä betoni yleistyy kaikessa rakentamisessa, niin myös sillankorjauksessa. Seuraava sukupolvi, ns. semi-itsetiivistyvä betoni voi tarjota hyviä vaihtoehtoja. Muutokset tiesuolan käytössä ja vaihtumisessa uudensuunratkaisuihin ja autojen pakokaasupäästöjen loppuminen voi antaa tulevaisuudessa lisää liikkumavaraa betonien suhteutukseen.

Liikennevirasto päivittää jatkuvasti siltabetonien ohjeistoa. Liikenneviraston vielä vahvistamattomissa ohjeistuksissa on viitteitä siitä, että siltabetonoinneissa käytettävän itsetiivistyvän betonin leviämän alarajaksi asetettaisiin 650 mm. Käytännössä tämä tarkoittaisi leviämän sitomista tasoon 650 -700 mm, sillä tätä suurempien leviämien suhteutus on vaikeasti hallittavaa, eikä salli juurikaan karkeamman kiviaineksen käyttöä. Samalla rajataan ns. semi-itsetiivistyvät betonit ja muut kevyesti tiivistettävät betonit toistaiseksi pois käytöstä.

8.3.1 Betoniteknologian muut mahdolliset kehityssuunnat

Betonin lisäaineiden ja pinnoitusmateriaalien kehitystä kansainvälisesti on syytä seurata tarkkaan. Trendinä näyttäisi olevan kehitys kohti liukuvaluja ja lisäaineilla toteutettavaa pintojen vesitiiviyyttä. Suomalaisena innovaationa on mainittava kuparibetoni, jossa betoniin lisätty pieni määrä kuparia hidastaa kloridien aiheuttamaa korroosiota. Erilaiset itseään korjaavat betonit voivat olla tulevaisuudessa normaaleja tuotteita muiden joukossa. Nanotekniset pinnoitteet ja muut betonin pintaa ja mikrohalkeamia sulkevat materiaalit ovat yksi merkittävä kehityssuunta.

LÄHTEET

Siltojemme historia. Suomen Rakennusinsinöörien liitto. Otavan kirjapaino. 2004. Viitattu 30.8. 2012 ja 5.9. 2012.

Liikennevirasto. 2010. Liikenneviraston tiesillaston palvelutaso, rakenne ja kunto. Viitattu 30.8.2012 ja 5.9. 2012.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2010-03_tiesillat_1.1.2010_web.pdf

SILKO. Tiehallinto. 2005. Sillankorjausohjeisto. Useita viittauksia.

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/silko1.htm>

Siltatekniikan päivät, luento ”Eurokoodien soveltamisohje”. Heikki Lilja, Liikennevirasto, Helsinki, 29.1. 2013. Viitattu 10.3.2013.

Suomen ympäristökeskus. 2004. Tiesuolalle löytyi pohjavedelle haittommampi vaihtoehto. Viitattu 10.3.2013.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=60432&lan=fi>

InfraRYL 2006 osa 3. Sillat ja rakennustekniset osat. Rakennustietosäätiö. Kariston kirjapaino 2008. Useita viittauksia.

Liikennevirasto. 2011. Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje. Viitattu 12.10. 2012. ja 16.4. 2013.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-17_betonisiltojen_korjaussuunnitteluohje_web.pdf

RAKLI. 2011. Liikennevirasto palkittiin vuoden rakennuttajana. 2011. Viitattu 5.9.2012.

http://www.rakli.fi/linkit/uutiset/uutisiaraklista/20120120_vuoden_rakennuttaja/default.aspx

VTT. Korroosion ainetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät. Pertti Pitkänen. Tiehallinto. 2006. Viitattu 20.4.2013.

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/korroosio_selostus_vtt_2006.pdf

Suomen Betoniyhdistys. BY-40. 2003. Luokitustaulukko muottia vasten paikalla valetuille pinnoille. sivut 31 ja 35. Art Print, 2011. Useita viittauksia.

Suomen Betoniyhdistys. BY-50. 2012. Betonin laatuvaatimuksia, suhteutus ja rasitusluokat. Art Print, 2012. Useita viittauksia.

Suomen Betoniyhdistys. 1-luokan betonityönjohtajakurssi. Luento ”Itse-tiivistyvä betoni”, Sini Ruokonen, Rudus Oy. Helsinki 12.12. 2012. Viitattu 1.4.2013 ja 16.4.2013.

Liikennevirasto. 2012. Siltojen kaiteet. Viitattu 10.3.2013 ja 1.4.2013.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf

Trafikverket. 2003. Ruotsin liikenneviraston tyyppikuva sillankaiteelle. Viitattu 10.10. 2012.

http://www.trafikverket.se/PageFiles/30136/2_583_2S_dk.pdf

U.S. Department of Transportation. 2002. Kuvaus kaidepulttien juotosvalusta. Viitattu 10.10. 2012.

<http://www.fhwa.dot.gov/prdiv/report.htm#4>

Ministry of Transportation, British Columbia, Canada. 2007. Sillansuunnitteluohjeita. Viitattu 10.10. 2012.

http://www.th.gov.bc.ca/publications/eng_publications/bridge/standards/BSM-Volume-1_2007/BSM_Vol-1_All_Sections_Aug_2007.pdf

Betoni-lehti, numero 3/2006. Sirkka Saarinen Vaativissa olosuhteissa siltojen korjausvalut itsetiivistävällä betonilla. Viitattu 10.10. 2012.

European Project Group. 2005. Eurooppalainen yleisohje itsetiivistävästä betonista. Projektityöryhmän raportti, käännös www.betoni.com. Viitattu 10.12. 2012.

Tiehallinto. 2006. L-tukimuurin tyyppipiirustus, sivu 21. Viitattu 10.10.2012.

[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/tyyppipiirustukset/vanhat/dk-h2\(2006\)kuvat_\(31.12.2009\).pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/tyyppipiirustukset/vanhat/dk-h2(2006)kuvat_(31.12.2009).pdf)

Liikennevirasto. 2010. Sillanrakentamisen ja korjaamisen arvonlennusperusteet. Viitattu 16.4. 2013.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-17_sap2010_web.pdf

Tiehallinto. 2005. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Kohta 3.2.2.5/1. Viitattu 10.4.2013.

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/syl/syl3_2005v.pdf

Tiehallinto. 2009. Anssi Laaksonen, A-Insinöörit. Betonisiltojen käyttörajatilamitoitus. Rasitusluokkien vastaavuustaulukko, s.2. Viitattu 10.4. 2013.

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/eurocode/Laaksonen_Kayttorajatilamitoitus.pdf

Suomen Betoniyhdistys. 1-luokan betonityönjohtajakurssi. Luento ”Siltojen betonirakenteet”, Juha Noeskoski, A-Insinöörit. Helsinki 9.2. 2013. Viitattu 10.4.2013.

Rudus Oy. 2011. Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. Verkkojulkaisu. Viitattu 27.2.2013.

SILLANKORJAUKSEN HISTORIAA

Ote Kristoffer kuninkaan maanlaista. Ensimmäiset sillankorjaukseen liittyvät valtakunnalliset määräykset on annettu jo ennen kirjoitetun suomenkielen aikaa.

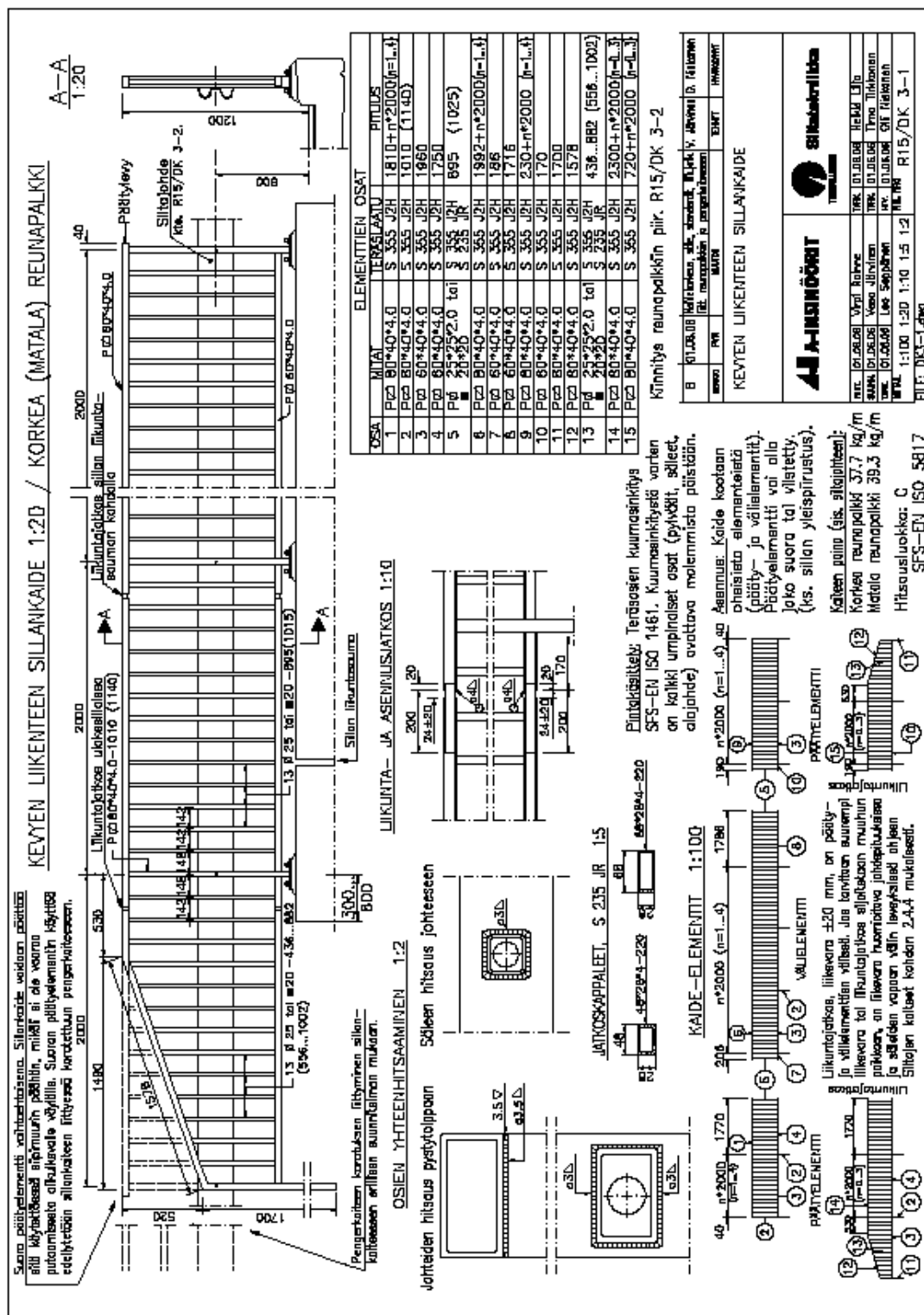
Sillanrakennus ja –korjausohjeita vuodelta 1442. Ohjeissa painotetaan yhteisön jokaisen talollisen vastuuta alueen silloista ja niiden ylläpitokustannuksista.

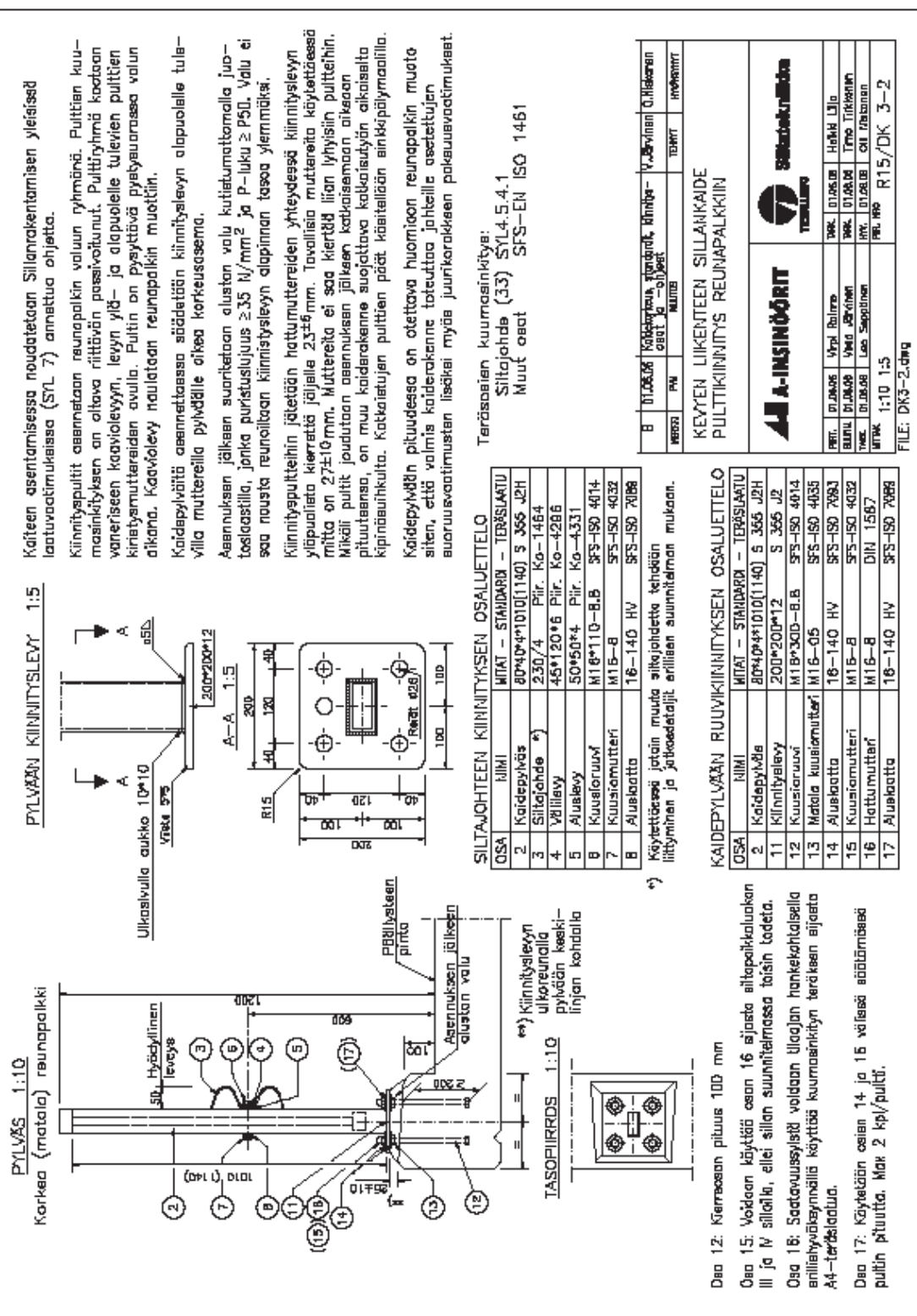
Iocaitzen tule Silloia raketa, ia teitä perghata
nijn fe quin wähin on kyläs, ninquin fengin iolla enämbj on
kyläs cungin fämanfa iälken. Ios kirkon Silda maka yhden
Sunnundaipäiuän maafa, maxetan 6. äyri, njn 'mös' [mös toi-
fen ia colmannen Edheft, fe on fñfanoian *oma* facko, fe
maxa ioca ei ole rakendanut, ia fe olkan wapadhe ioca raken-
danut on, iocainen fen iälkin quin hänen ofaxens tule. Kir-
kon Sillan tule olla 5. kñnä rä leuiä. Ios fe maka enämmän
maafa quin colme Sunnundaipäiuä, maxettakan 3. m'ka colmie
iakoon. Se fama laki olkan karian Sillaft ia myllñn Sillaft.
Maan tien ia käreiä tien, tule olla 10. kñnä rä leuiä cufta
canfa pitä Edhes waeldaman. Ios maka maan Silda iofakin
paikas, quin pitä enämmän quin yhden, kihlacunnan raken-
daman, ia fe maka colmen Sunnundain iärieffens maafsa, njn
maxakan fe kihlacunda, ionga Silda on 40. m'ka, colmelle
iagholle, fñfanoian, kuningan ia kihlacunalle, ios fe iaka-
mat on, ios hän mös ofin iaettu on, ia cukin kihlacunda tietä
hänen ofanfa, ios monikahdat tahtouat raketa, ia monikahdat
andanaſ langeta; Ios fitte puoli Silda maafa makapi, quin
fanottu ombi maxettakan 20. m'ka, colmie iakoon, Makapi
neliennes maafa maxettakan 10. m'ka colmie iakoon. Cuka
kihlacunda langeta andapi, ia ei tahdo raketa, maxakan quin
fanottu on, ia olkan ne vapaatt, quin rakendaneet ouat. Cufa
kihlacunnan Silda maka caicki, colme Sunnundaipäiuä maafa,
iota coko kihlacunnan tule tehdä, maxakan 20. m'ka. Ios
maka puoli Silda maafa, maxakan 10. m'ka. Maka neliannes
maafa, maxakan 5. m'ka, colmie iakohon. Ios iokun kylä ei
rakenna kihlacunnan canfa, maxakan 3. m'ka. Ios ŷxi Ta-
lonpoica ei tahdo raketa maxakan 6. äyri, ne ottakan talon-
poiat iotka rakendaneet ouat. Nytt taita Silda pois tulla ŷlis
wedhen wirdhafta, eli walkiafta, ia on fen tähden rikoxis.

H2-TÖRMÄYSLUOKAN SILLANKAITEEN TYYPPIPIIRUSTUS

Kaidepylvään tyypipiirustus, Tiehallinto 2006

SIVU 1/2





REUNAPALKIN BETONOINNIN LAATUMUUTTUJIEN VALVONTA

Reunapalkin betonoinnin tulee täyttää suunnittelijan ja tilaajan määrittelemät laatuvaatimukset. Yleisimmin viitataan InfraRYLiin, Liikenneviraston omiin ohjeisiin ja Betoniyhdistyksen julkaisemiin BY-normeihin.

Keskeisiä muuttujia ovat:

- Kontrolloitu betonointiin valmistuminen, mm. raudoitustarkastukset ja suhteutuksen hyväksyttäminen
- Olosuhteiden ennakoiminen, suojaus säänvaihteluilta, auringon valolta ja kylmältä
- Betonin suunnittelulujuus, jonka toteutumista valvotaan (InfraRYL 2006. 42020.1.1.5) betonitehtaan jokaisesta betonierästä otettavalla puristuslujuuskoekappaleella sekä työkohteella otettavilla ja säilytetävillä olosuhdepuristuslujuuskoekappaleilla. Myöhemmin voidaan tehdä myös kimmovasarakokeita kovettuneen betonin pintaan
- BY-50 s. 99–112 ja Liikenneviraston omissa vastaavissa ohjeissa määriteltyjen suola-pakkasrasitusluokkien ja suhteutuksen reunaehto-
jen täytyminen, jota kontrolloidaan määrittelemällä reunaehdoja suhteutukselle, betonin lisäaineille ja betonille tehtäville ennakkokokeille
- Ilmahuokostuksen onnistuminen jota kontrolloidaan tekemällä betonille ilmamäärämittauksia työmaalla ennen muottiin siirtoa, sekä ennakko-
koebetoninäytteelle laboratoriossa mikroskooppinen ilmahuokostarkastelu hienäytteestä
- Valupintojen ja hierron onnistuminen ja suoruus jota arvostellaan BY-40 s. 22 julkaistun arvostelutaulukon avulla
- Valmiin betonoinnin katselmointi jossa tarkastellaan rajapintojen ja detaljien onnistumista ja mahdollisten harvavalujen, halkeamien ym. esiintymistä.

BETONIPINNAN ARVOSTELUNORMEJA

Suomen Betoniyhdistys BY-40 2003. painos 2011, s. 31

Luokitustaulukko MUO ja MUK / Muottia vasten paikallavaletut pinnat. Lähde: By40

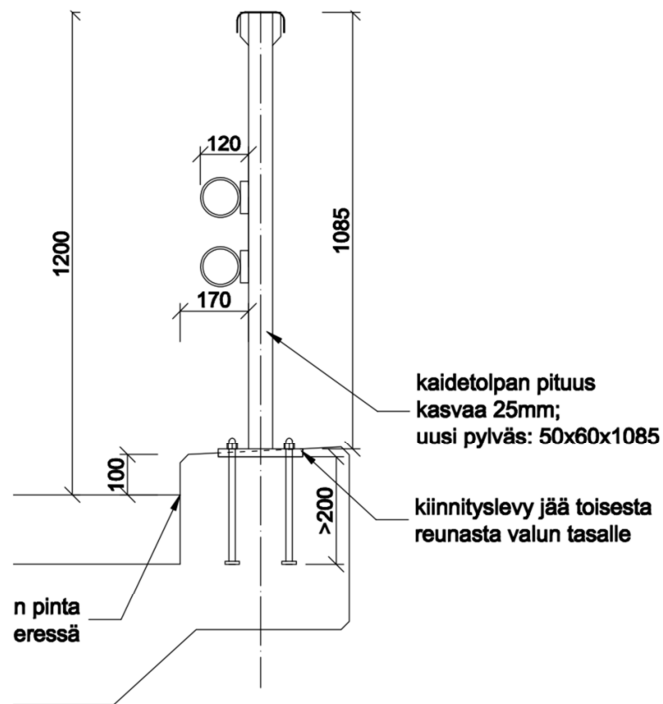
Vaatimukset koskevat tarkasteltavaa pintaa, joksi valitaan yleensä yhdellä kertaa valettu pinta.

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C ¹⁾
Nystermä					
suurin korkeus	mm	2	3	6	6
suurin leveys	mm	3	9	20	20
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Syvennys					
suurin syvyys	mm	2	4	7	7
suurin leveys	mm	4	9	15	15
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Hammastus	mm	1	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla					
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	3	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muotti- saumojen pituudesta	10	20	30	30
Vaakasuurassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	8	10	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	20	40	80	160
Pystysuurassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	8	10	12	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	60	100	200
Vaakasuurassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m ²	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	1	2	4
Pystysuurassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m ²	ei sallita	0,2	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	2	2	4
Pinnan käyryys ja aaltoliu					
suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	3	5	8	8
Värvaihtelu					
harmaat pinnat	luokat	B		-	-
valkobetonipinnat	(kohta 10)	A		-	-
muut väribetonipinnat		B		-	-

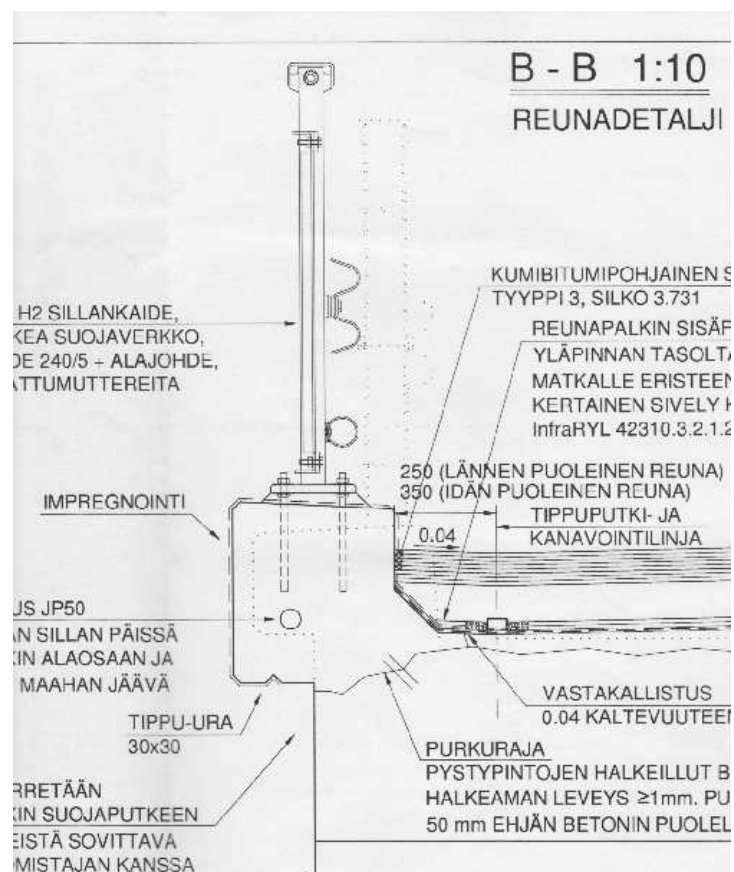
- 1) Heikointa C-luokan vaatimusta käytetään yleensä vain näkymättömiin jääville pinnoille (esim. perustukset ja alas-laskettujen kattojen betonipinnat).

KAIDEMUUTOKSEN SUUNNITELMAKUVA

Kuvio 1. Suunnitelma kuva Niemen sillan kaidemuutoksesta



Kuvio 2. Skannattu ote Kuokkamaantien suunnitelma kuvista, tavanomainen kaide



KAIDEPYLVÄIDEN KIINNITTÄMISEN VARMISTAMINEN

Sivu 1/2

Niemen sillalla tehdyssä kokeessa yksi tilaajan ja suunnittelijan asettama reunaehto oli, että kaidepylväiden kiinnityslaipan pohjan on oltava koko alaltaan kiinni betonissa ja tyhjätiloja ei saa jäädä.

Tämä varmistettiin erityisellä kokeella, jossa simuloitiin onnettomuustilannetta niin, että neljä pylvästä purettiin irti betonista ja tarkasteltiin liitospintaa.

Seuraavassa kuvasarja yhden pylvään irrotuksesta:



Kuva 18. Johteet ja pylvään kiinnityspultit irroitettiin.



Kuva 19. Kiinnityslaipan ympäryrs rajattiin timanttileikkaamalla sinkityspintaa varoen, jotta betoni ei murtuisi kaidetta irrotettaessa.



Kuva 20. Kaidepylväs oli sen verran liimautunut betoniin, että sitä täytyi kevyesti koulauttaa irti betonista. Sementtiliimajäämiä oli koko kiinnityslaipan alueella.



Kuva 21. Myös betonipinnasta näkyi, että betoni oli hyvin täyttänyt koko kiinnityslaipan alueen. Joissain kohdin tartunta oli niin hyvä, että laippa irrotti purettaessa betonia palkista.

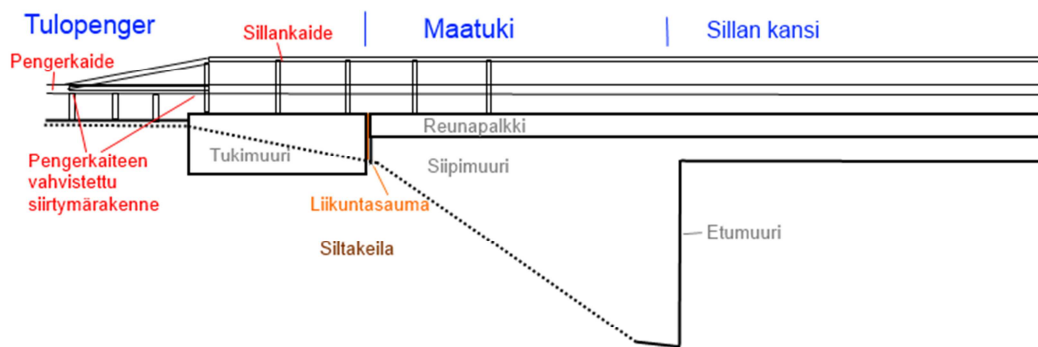
Kaikki neljä pylvästä antoivat yhtä hyvän tarkastustuloksen. Itsetiivistyvä betoni toimi moitteettomasti kiinnityslaipan alustan täytössä, joka oli tilaajan asettama reunaehto kokeiluluvan saamiseen.

Pylväät kiinnitettiin takaisin niin, että laippaa korotettiin ylös vanhasta tartuntapinnasta muutamalla irtonaisella kuumasinkityllä korialuslevyllä. Kiinnityslaipan alle jäi noin 4 mm tyhjätila. Se valettiin täyteen notkealla juotosbetonilla huolellisesti massaa survoen kiinnityslaipan juotosreiästä, kunnes betonia oli pursunnut laipan jokaiselta reunalta. Timanttilaikan jättämät jäljet ja muutamat irrottaessa syntyneet lohkeamat paikattiin korjauslaastilla.

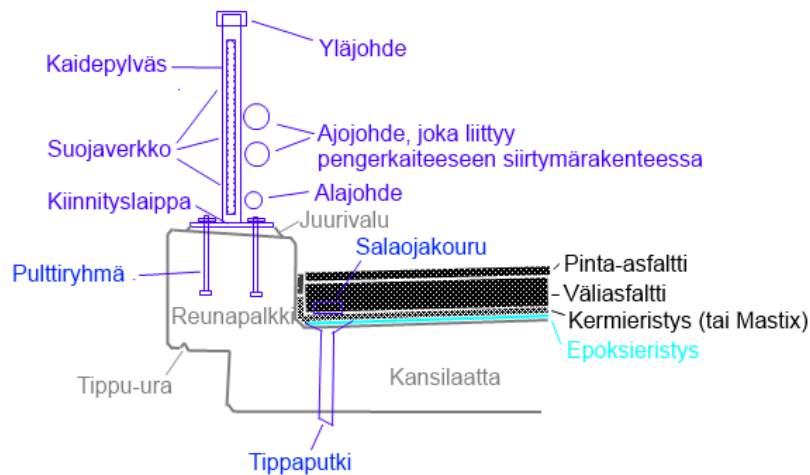
SILLAN OSAT, ASIASANASTOA JA TERMIEN SELITYKSIÄ

Seuraavissa on kuvissa esitetty sillan perusosat, ja tässä opinnäytetyössä niistä käytetyt termit. Kuvat esittävät Niemen sillan tyyppistä kehäsiltaa, jossa on lisätyä tukimuurit tulopenkereille. Kuvat eivät ole mittakaavassa.

Kuvio 3. Sillan osat, Niemen silta.



Kuvio 4. Tavanomaisen H2 -sillankaiteen osat ja sillan kannen reunan rakenteelliset osat poikkileikkauksena. Niemen sillalla kaide toteutettiin ilman juurivalua.



Joidenkin tekstissä esiintyvien asiasanojen ja ammattitermien selityksiä. Sanasto on selostava ja vapaamuotoinen, ja sen viitteitä voi etsiä tekstin viitteistä tai esimerkiksi internetin hakutoiminnolla. (Huom! Termit on esitetty tekstissä esiintyvien siltatyyppien, eli teräsbetonisten kehäsiltojen tapauksessa):

A

Ajojohde= Sillankaiteeseen keskikorkeudelle pultattu yhtenäinen teräsprofiili tai putki, jonka on tarkoitus ottaa vastaan törmäyskuormia ajoneuvon törmätessä kaiteeseen.

Alajohde, välijohde= Ylimääräinen johde sillankaiteen alaosassa joka vahvistaa kaidetta ja estää henkilöauton keulaa ajautumasta ajojohteen alle.

B

Betonyhdistys, Suomen Betonyhdistys ry= Yhdistys joka ylläpitää ja julkaisee yhteistyössä viranomaisten ja tutkimuslaitosten kanssa betonirakentamisen normistoa ja betonitietoa.

BY-40, BY-50 jne.= Betonyhdistyksen julkaisuja betoninormeista, laatuvaatimuksista ym.

C

D

E

Epoksi, epoksointi= Betonihalkeamien korjauksessa käytetty menetelmä jossa halkeama täytetään kaksikomponenttisellä epoksihartsilla. Epoksia käytetään myös siltojen pintarakenteissa vesieristyksen höyrysulkukerrokseksi.

Etumuuri= Maatuen etupinnalla oleva pystysuora seinämäinen osa.

Eurokoodit (sillat)= EU-viranomaistyöryhmän julkaisu, jonka on tarkoitus korvata kansalliset ohjeet siltojen suunnitteluun ja laatuvaatimuksiin. Eurokoodit ovat kuitenkin Suomen talviolosuhteisiin puutteelliset ja siksi Liikennevirasto on toistaiseksi vain täydentänyt omia ohjeitaan Eurokoodeilla.

F

G

H

H2-kaide= Liikennevirasto on määrittänyt sillankaiteille törmäysluokituksen H1-H4, joka perustuu sillan keskimääräisen liikennevirran ja erityisesti raskaan liikenteen määrään. H2 on tavanomaisten kaiteiden korkein törmäysluokka ja yleisin kaidetyyppi maanteillä. H3 ja H4 ovat erikoistapauksissa käytettyjä kaiteita. Uusimmassa kaideohjeessa korvataan tyypeillä L1-L4.

Hierto= Betonin vaakapinnalle tehtävä käsittely pinnan sitoutumisen aletua. Tehdään reunapalkeissa usein puulevyllä (puuhierto) tai muuten erityisillä muovi- tms. pintaisilla hiertolevyillä. Tarkoituksena on pinnan sementtiliimalla hieroen sulkea vaakapinnan huokokset ja peittää paljastunut kiviaines sementtikerroksella sekä pinnan tasoitus. Sementtiliimainen kerros myös hidastaa hieman veden haihtumista betonista.

Huokonen= Betonissa oleva ilmakupla.

Huokostus= Pakkas-suolarasitettuihin betoneihin lisätään saippuan sukuisia ainetta sekoitusvaiheessa joka tuottaa betoniin pieniä ilmakuplia. Ne toimivat lämpötilan muuttuessa keväisin ja syksyisin tyhjätilana johon betoniin sitoutunut vapaa vesi voi laajentua sulaessaan.

Hydrataatio, hydratoituminen (betonin)= Kemiallinen reaktio jossa vesimolekyyli reagoi sementin kalsiumin ja rikin muodostamien molekyyliden (Ca_2S ja Ca_3S) kanssa muodostaen silikaatteja ja kalsiumhydroksidia.

I

Impregnointi= Betonin pintakäsittely, jossa betonin päälle ruiskutetaan silaani-pohjaista ainetta, joka tunkeutuu betonin pintahuokosiin ja halkeamiin ja täyttää ne. Voidaan tehdä myös vanhoille puhtailla betonipinnoille.

InfraRYL= InfraRakentamisen Yleiset Laatuvaatimukset. Rakennustietosäätiön julkaisema säännös- ja normikokoelma jota yleisesti noudatetaan infrarakentamisen suunnittelussa, toteutuksessa ja laadunvalvonnassa. Kokoelman osa 3 käsittelee siltoja. Vastaa talonrakennuksessa käytettyä RYL-kokoelmaa.

Itsetiivistyvä betoni= Erittäin notkeaksi lisäaineilla notkistettu betonilaatu, jota ei tarvitse erikseen tiivistää.

J

Jälkihoitoaine= Nestemäinen tuote jota ruiskutetaan betonivalun pinnalle. Muodostaa vahamaisen pinnan joka estää veden haihtumista betonin pintakerroksesta varhaiskuivumisen aikana. Esim. parafiinia.

K

Kaidepylväs= Sillankaiteen pystyosa, joka on pultattu reunapalkkiin.

Kaistakuorma, kuormituskaista= Sillansuunnittelun termi jolla tarkoitetaan laskennallista kuormaa, jonka teoriassa äärimmilleen täytetylle sillalle ajettut ajoneuvot aiheuttavat.

Kehäsilta= Siltatyyppi jossa sillan kansi ja maatuki ovat yhtenäistä kiinteää betonirakennetta. Niemen ja Kuokkamaantien sillat ovat kehäsilloja. Vrt. laattasilta, jossa kansilaatta on oma rakenteensa joka on erotettu maatauesta liikuntasaumalla. Siltatyypeistä on lukuisia alatyyppejä.

Kermi= Bitumista ja kuiduista valmistettu vesieristysmatto, joka liimataan alustaan sulalla bitumilla.

Kimmoasara= Mittalaite jonka mekaanisen jousen avulla ”kopsautellaan” kuivuneen betonin pintaa. Laite mittaa pinnan kimmoisuutta josta saadaan likiarvo betonin kovuudesta.

Kloridi= Tiesuolan (NaCl, natriumkloridi) sisältämä kloori, joka liukenee veteen helposti ja alentaa sen jäätymispistettä. Betoniin imeytyessään sitoo kosteutta huokosiin ja kiihdyttää raudoitusterästen korroosiota.

Korroosio= Metallin hapettuminen eli ruostuminen.

Kuivumiskutistuma= Betonissa on sekoittaessa oltava enemmän vettä kuin mitä betonin hydrataatio tarvitsee. Ylijäämävesi haihtuu betonista kovettumisen aikana jolloin betonin tilavuus pienenee. Tämä aiheuttaa betoni-rakenteeseen pienen kutistuman ensimmäisten kuivumisviikkojen aikana.

Kulmarima= Muotin nurkkiin naulattava kolmiorima, jolla loivennetaan betonirakenteen 90 asteen kulmat kahdeksi 45 asteen kulmaksi.

Kuparibetoni= Suomalainen keksintö lisätä pieni määrä kuparia betoniin sekoitusvaiheessa, joka tehtiin alun perin betonin värjäämiseksi ja pinnan kuvioimiseksi. Myöhemmin huomattiin, että kuparin lisääminen parantaa myös betonin muita ominaisuuksia, kuten pakkas-suolarasituksen kesto. Kuparibetonia on käytetty kokeiluluonteisesti muutamissa siltabetonoinneissa.

Kuumasinkitys= Teräksen pinnoitus sinkkikerroksella joka luo sähkökemiallisen suojan korroosiota vastaan. Tehdään kaikille kaideosille.

L

Liikennevirasto= ELY -keskuksen (Elinkeino ja Ympäristö-keskus) alainen valtion virasto joka valvoo maanteiden, rataverkon ja vesiväylien kuntoa ja toteuttaa tilaajana niiden ylläpito-hankkeita. Aikaisemmin Maanteiden osalta Tiehallinto (2001–2010) ja Tielaitos (-2001).

Liukuvalu= Valutekniikka jossa muotti liikkuu valun aikana. Yleinen ulkomailla suurten siltojen kansivaluissa.

L-tukimuuri= Kts. tukimuuri. Tukimuuri joka on saanut nimensä poikkeileikkauksen L-kirjaimen muodosta.

M

Maatuki= Yleisnimitys sillan osalle joka tukee ja siirtää sillan kuormia maahan ja maatuen perustuksiin.

Mastix= Valuasfaltti, erittäin bitumipitoinen asfaltti jota käytetään vesieristyskseenä asfalttikerroksen alla. Levitetään pinnalle kaataen sulana, kovettuu jäähtyessään.

N

Muottijärjestelmä= Teollisesti esivalmisteltu valumuotti.

O

P

P50 (P30,P20)= Liikenneviraston käyttämä luokitusarvo betonin pakkas-suolarasituksen kestolle. Määrittää raja-arvot betonin tilavuuteen jäävälle huokosilmamäärälle jota huokostuksessa tavoitellaan, tai toisaalta voidaan hyväksyä.

Pakkas-suolarasitus= Kosteutta, johon on liuennut tiesuolaa, imeytyy betoniin ja aiheuttaa betoniin epäsäännöllistä sulamis-jäätymisvaihtelua ja estää kosteuden haihtumista. Halkeamien kautta imeytyessään syvemmälle betoniin kiihdyttää terästen korroosiota.

Penger, tulopenger= Sillalle tulevan tien, junaradan ym. pengerrys, johon sillan kansi liittyy.

Pulttiryhmä= Neljästä pultista tyyppikuvan mukaisesti reunapalkin valuun valettu ryhmä, johon sillankaide pultataan kiinni.

Profometri= Terästen sähkömagneettisuuteen perustuva mittalaite, jolla voidaan mitata betoniteräksen etäisyys betonin pinnasta betonia rikkomatta.

Pysyvä kuorma (Staattinen kuorma Eurokoodeissa)= Sillansuunnittelun termi jolla tarkoitetaan sillan rakenteisiin jatkuvasti kohdistuvaa kuormaa. Esim. sillan rakenneosien oma paino tai maatukeen kohdistuva maapaine. Vrt. vaihtuva kuorma.

Q

R

Rakennebetoni= Tavanomainen betoni.

Ram= Rakennusammattimies, rakennusmies.

Rasitusluokat= Betoninormeissa (esim. BY-50) ennalta määritelty luokitus, jossa betonin suhteutusta ohjataan raja-arvoilla ja materiaaliominaisuuksilla perustuen betonin tulevan käyttötarkoituksen kemiallisiin ja/tai olosuhde- säätilarasituksiin, esim. tiesuolan aiheuttama pakkas-suolarasitus maantiesillan reunapalkille.

Reivaus= Vino tukipuu puurakenteissa.

Reunapalkki= Sillan kansirakenteen reunaan ja siipimuurin päälle valettu teräsbetonipalkki joka sitoo ja tukee sillankaidetta siltaan.

S

Siipimuuri= Maatuen sivulla oleva sivuprofiililtaan usein kolmiomainen betoniseinä, joka estää penkereen maamassaa leviämästä sivulle.

Siirtymärakenne= Sillankaiteen päähän asennettava lisävahvistus, joka tukee sillankaidetta pituussuuntaisia törmäyskuormia vastaan ja samalla liittää sillankaiteen pengerkaiteeseen.

SILKO= Perinteinen Tielaitoksen Sillankorjausohjeisto, joka yhä toimii pohjana sillankorjaustöiden suunnittelussa, toteutuksessa ja valvonnassa. Sisältää myös luettelot hyväksytyistä materiaaleista ja erikoistyövaiheurakoitsijoista, joita nykyisin päivitetään erillisinä listoina Liikenneviraston internet-sivuilla.

Suojaetäisyys= Suunnitelmissa esitetty pienin hyväksyttävä määrä betonia betoniterästen ympärillä, eli pienin hyväksyttävä teräksen etäisyys betonin pinnasta. Määritelty betoninormeissa.

Suunnitelmalujuus= Rakennesuunnittelijan määrittelemä minimi betonin puristuslujuudelle, jonka mukaan betoni suhteutetaan.

T

Tiehallinto= Liikenneviraston edeltäjä maantieverkon ylläpitäjänä, joka lakkautettiin 2010.

Tippaputki= Sillankannen läpäisevä teräksinen putki reunapalkin vieressä asfaltin alla, joka kuivattaa kosteutta asfalttikerrosten alta.

Tippu -ura= Reunapalkin alapinnassa muottiin asennetun kolmioriman avulla tehty ura, joka estää reunapalkin sivua valuvan veden valumisen kannen alapintaa pitkin.

Tukimuuri= Erityinen lisätty rakenne sillassa joka tukee tulopenkereen maamassoja.

U

Ukkopylväs= Sillankaiteen päähän valettu n. metrin korkuinen betoninen pylväs jolla tuettiin sillankaidetta ja sovitettiin sillankaiteen ja pengerkaiteen korkeusero. Ukkopylväitä tehtiin noin 80-luvulle saakka, jonka jälkeen ne korvattiin nykyisen tyyppisellä teräksisellä siirtymärakenteella.

Uloke, reunauloke= Sillan kannen reuna, joka on kantta tukevan rakenteen ulkopuolella, esim. kevyenliikenteen väylä sillan liikennealueen reunassa.

V,W

Vaihtuva kuorma (Dynaaminen kuorma Eurokoodeissa)= Sillansuunnittelun termi, jolla tarkoitetaan sillan rakenteisiin kohdistuvia muuttuvia kuormia, kuten liikennekuorma tai kannen lämpöliikkeen aiheuttama kuorma.

Valupaine, muottipaine= Kovettumattoman betonin aiheuttama nestemäinen paine muotille.

Vesipiikkaus= Betonin piikkausmenetelmä jossa käytetään korkeapaineista, 1000–3000 barin vesipainetta betonin rikkomiseen. Vesipiikkauspinta on huomattavan karhea ja puhdas, ja siksi hyvä tartuntapinta valettaessa vanhaa betonia vasten.

Vibra, vibraaminen= Betonin tiivistystyökalu, betonin tiivistäminen. Metallinen, muotin koosta riippuen n. 20–100 mm paksu sauva, joka sähkömoottorin ja epäkeskon avulla tärisee voimakkaasti. Upotetaan betoniin, jolloin tärinä auttaa betonimassan muottiin siirron aikana tulleet ilmakuplat nousemaan pintaan. Tärinä saa betonimassan tunkeutumaan tiiviisti muotin nurkkiin ja ahtaisiin rauditusväleihin.

X

Y

Yläjohde = Sillankaiteen yläosassa kulkeva jatkuvaksi pultattu palkki tai putki.

Z

ÅÄÖ